

# Diseño y prototipado de herramientas didácticas para robot colaborativo



Grado en Ingeniería en Diseño Mecánico

## Trabajo Fin de Grado

Autor: Hugo Royo Bartos

Director TFG: Juan Ignacio Latorre Biel

Tudela, 16-03-2016

## Resumen

En el aprendizaje de la robótica colaborativa en educación superior es conveniente realizar prácticas con una variedad de herramientas que reflejen la diversidad de elementos a encontrar en el tejido industrial.

Para cubrir la laguna existente en este ámbito, el presente trabajo fin de grado ha tenido como objetivo el diseño y prototipado de diferentes herramientas para su acoplamiento a un robot colaborativo de Universal Robots, que presentan una funcionalidad real o simulada según proceda.

Para el desarrollo de las herramientas se ha utilizado el programa de diseño Solidworks y para su construcción se ha recurrido a diversas tecnologías como el prototipado rápido. En las herramientas funcionales se incluyen elementos electrónicos y neumáticos.

***Palabras clave:*** Robótica colaborativa, Herramientas terminales de robot, Didáctica en la ingeniería, Simulación de procesos industriales, Diseño y prototipado rápido.

# ÍNDICE

<b>1. Introducción.....</b>	<b>Pág. 9</b>
1.1 Propósito del TFG.....	Pág. 9
1.2 Características básicas del robot colaborativo UR5.....	Pág. 10
1.3 Justificación del TFG.....	Pág. 11
1.4 Objetivo de la pistola de soldadura.....	Pág. 13
1.5 Objetivo de la pinza de soldadura por resistencia.....	Pág. 15
1.6 Objetivo del bastidor de ventosas.....	Pág. 17
1.7 Estimación de la demanda de las herramientas.....	Pág. 19
<b>2. Especificaciones.....</b>	<b>Pág. 21</b>
2.1 Especificaciones cuantitativas.....	Pág. 23
2.2 Especificaciones cualitativas.....	Pág. 25
<b>3. Análisis de alternativas.....</b>	<b>Pág. 31</b>
3.1 Bastidores de ventosas.....	Pág. 33
3.1.1 De estructura fija.....	Pág. 33
3.1.2 De estructura variable.....	Pág. 34
3.1.3 Accesorios mecánicos.....	Pág. 35
3.1.4 Accesorios neumáticos.....	Pág. 49
3.2 Pistolas de soldadura.....	Pág. 55
3.2.1 Equipos de soldadura marca Fronius.....	Pág. 56
3.2.1.1 Soldadura MIG/MAG.....	Pág. 56
3.2.1.2 Tipos de pistolas de soldadura MIG/MAG.....	Pág. 60
3.2.1.3 Soldadura TIG.....	Pág. 63
3.2.1.4 Pistolas de soldadura TIG.....	Pág. 63
3.2.2 Equipos de soldadura marca ESAB.....	Pág. 66
3.2.2.1 Pistolas MIG/MAG.....	Pág. 66
3.2.2.2 Pistolas de soldadura en tándem.....	Pág. 67
3.2.2.3 Antorchas de hueco estrecho.....	Pág. 68
3.2.2.4 Pistolas de soldadura por fricción.....	Pág. 69
3.2.3 Equipos de soldadura Miller.....	Pág. 71
3.2.4 Equipos de soldadura Selco.....	Pág. 73
3.2.4.1 Antorchas Selco.....	Pág. 75
3.2.5 Componentes de las pistolas.....	Pág. 77
3.2.5.1 Componentes de pistola MIG/MAG.....	Pág. 77

3.2.5.2 Componentes de pistola TIG.....	Pág. 82
3.3 Pinzas de soldadura por puntos.....	Pág. 85
3.3.1 Principio de funcionamiento.....	Pág. 85
3.3.2 Características de soldadura por puntos.....	Pág. 86
3.3.3 Tipos de pinzas de soldadura por puntos.....	Pág. 87
3.3.4 Componentes generales de las pinzas de soldadura por puntos.....	Pág. 91
3.3.5 Análisis mecánico de las pinzas.....	Pág. 99
3.3.5.1 Análisis mecánico de las pinzas en X.....	Pág. 99
3.3.5.2 Análisis mecánico de las pinzas en C.....	Pág. 103
3.4 Elementos de unión.....	Pág. 107
3.4.1 Tornillos.....	Pág. 107
3.4.2 Otros elementos de unión.....	Pág. 117
<b>4. Elección de una alternativa para cada herramienta.....</b>	<b>Pág. 119</b>
4.1 Estrategia de diseño.....	Pág. 121
4.1.1 Fase de construcción en Solidworks.....	Pág. 121
4.1.2 Fase de elección de los componentes y compra del material.....	Pág. 126
4.1.3 Fase de fabricación del prototipo.....	Pág. 127
4.2 Selección de la pistola de soldadura.....	Pág. 129
4.2.1 Descripción general de la pistola de soldadura.....	Pág. 130
4.2.2 Componentes mecánicos de la pistola de soldadura.....	Pág. 131
4.3 Selección del bastidor de ventosas.....	Pág. 142
4.3.1 Descripción general del bastidor de ventosas.....	Pág. 142
4.3.2 Componentes del bastidor de ventosas.....	Pág. 144
4.4 Selección de la pinza de soldadura por puntos.....	Pág. 151
4.4.1 Descripción general de la pinza.....	Pág. 151
4.4.2 Componentes mecánicos de la pinza.....	Pág. 154
<b>5. Diseño.....</b>	<b>Pág. 165</b>
5.1 Diseño neumático de la pinza de soldadura por puntos.....	Pág. 165
5.2 Características técnicas de los elementos neumáticos de la pinza de soldadura por puntos.....	Pág. 169
5.3 Diseño neumático del bastidor de ventosas.....	Pág. 171



5.4 Características técnicas de los elementos neumáticos del bastidor de ventosas.....	Pág. 175
5.5 Diseño eléctrico de las herramientas.....	Pág. 179
5.6 Diseño mecánico de las herramientas.....	Pág. 181
<b>6. Prototipado.....</b>	<b>Pág. 183</b>
6.1 Pasos para el proceso de prototipado en poliamida.....	Pág. 185
6.2 Resultado final del prototipado en poliamida.....	Pág. 191
6.3 Pasos para el proceso de prototipado en ABS.....	Pág. 195
6.4 Resultado final del prototipado en ABS.....	Pág. 199
6.5 Otros procesos de fabricación.....	Pág. 201
<b>7. Comprobación de las especificaciones.....</b>	<b>Pág. 203</b>
7.1 Comprobación de las especificaciones cuantitativas.....	Pág. 205
7.1.1 Comprobación de peso.....	Pág. 206
7.1.2 Comprobación de consumo.....	Pág. 208
7.1.3 Comprobación de las especificaciones neumáticas.....	Pág. 208
7.1.4 Comprobación de la especificación dimensional....	Pág. 209
7.2 Comprobación de las especificaciones cualitativas.....	Pág. 213
7.2.1 Comprobación de acople y desacople.....	Pág. 213
7.2.2 Comprobación de nivel de realismo.....	Pág. 213
7.2.3 Comprobación de fácil visualización de tareas.....	Pág. 216
7.2.4 Comprobación de interés por los centros.....	Pág. 216
7.2.5 Comprobación de facilidad de montaje.....	Pág. 216
7.2.6 Comprobación de facilidad de mantenimiento.....	Pág. 217
7.2.7 Comprobación de costes.....	Pág. 218
<b>8. Presupuesto.....</b>	<b>Pág. 219</b>
8.1 Costes de compra de material.....	Pág. 221
8.2 Costes de prototipado.....	Pág. 225
8.3 Otros costes.....	Pág. 227
8.4 Costes totales.....	Pág. 229
<b>9. Conclusiones.....</b>	<b>Pág. 231</b>
<b>Bibliografía.....</b>	<b>Pág. 233</b>
<b>10. Anexo 1. Componentes del robot UR5.....</b>	<b>Pág. 239</b>
<b>11. Anexo 2. Centros educativos y universidades.....</b>	<b>Pág. 245</b>
<b>12. Anexo 3. Manual de montaje.....</b>	<b>Pág. 261</b>

<b>13. Anexo 4. Programas creados para las pruebas de las herramientas.....</b>	<b>Pág. 279</b>
<b>14. Anexo 5. Planos eléctricos de las herramientas.....</b>	<b>Pág. 297</b>
<b>15. Anexo 6. Planos mecánicos de las herramientas.....</b>	<b>Pág. 309</b>





## **1. Introducción**

Este presente TFG se basa en el diseño de distintas herramientas para los diferentes ámbitos educativos en la robótica industrial. Para ello, en los siguientes puntos se va a dar a conocer los objetivos que se quieren llegar a alcanzar, la justificación de los mismos y una descripción sobre el robot con el que se va a trabajar.

### **1.1 Propósito del TFG**

Este Proyecto Fin de Grado tiene como objetivo el diseño y desarrollo de distintas herramientas educativas acoplables a un robot colaborativo para la mejora de la enseñanza de la robótica industrial. El proceso de desarrollo pasa por un análisis de las distintas herramientas, un modelado posterior mediante programa de diseño 3D Solidworks, para finalmente fabricarlas mediante técnicas de prototipado. Esto se quiere conseguir desde la eficiencia tanto en material como en los distintos procesos a seguir.

Para llevar a cabo esta tarea, se va a trabajar con un robot colaborativo propiedad del instituto educativo C.I.P “ETI” de Tudela de la marca Universal Robots, concretamente, el modelo UR5. Las herramientas diseñadas en este proyecto se utilizarán para su aplicación en los módulos formativos sobre robótica industrial a impartir en el centro educativo nombrado anteriormente.

Para conocer mejor el robot con el que se va a trabajar en este proyecto, se va a dar a conocer algunas características básicas que posee, así como una información breve sobre su manejo e interfaz de programación.

## 1.2 Características básicas del robot colaborativo UR5 de Universal Robots

Este robot consta de un brazo compuesto por juntas y tubos de aluminio extruido, posee seis juntas y dos tubos que conectan la base con la herramienta del robot. El UR5 utiliza una interfaz de programación llamada PolyScope en la que su programación para mover la herramienta acoplada al robot en la trayectoria deseada es muy fácil e intuitivo. En el **Anexo 1** de este proyecto se da más información sobre su geometría, radio de acción y sus componentes principales. El robot en cuestión es el que se muestra a continuación:

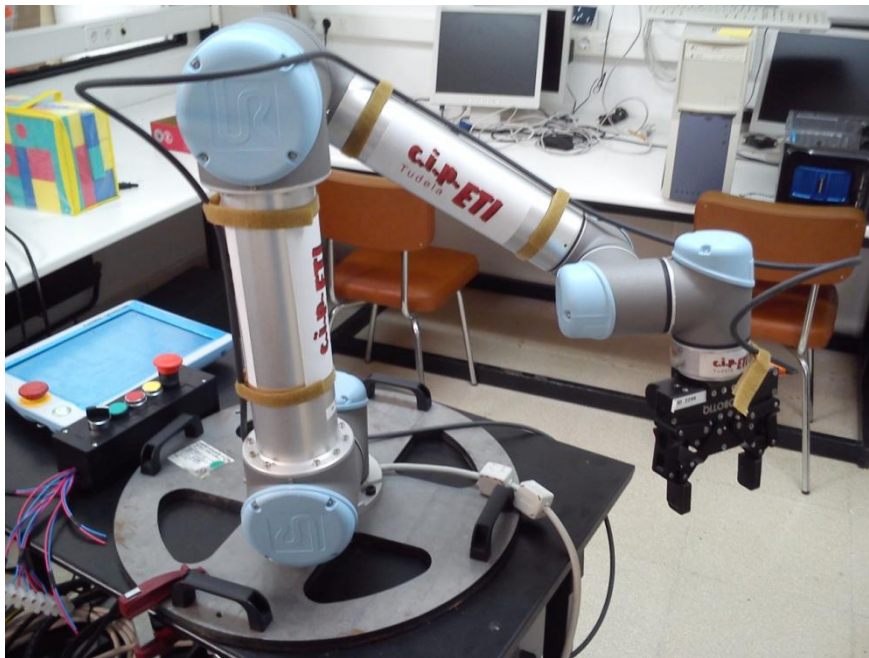


Ilustración 1.1 Robot Ur5

Una vez ya conocido superficialmente el robot con el que va a trabajar en este proyecto, se va a argumentar los motivos de la realización del mismo.

### 1.3 Justificación del TFG

El objetivo de realización de este proyecto está fundamentado en la inexistencia que hay hoy en día en cuestión de material didáctico para el aprendizaje de la robótica moderna. Las herramientas didácticas disponibles para el ámbito educativo suelen ser de pinzas para paletizado de piezas, esta aplicación ocupa sólo un pequeño porcentaje en el espectro de aplicaciones en el mundo de la robótica industrial.

Esto, se demuestra en la siguiente ilustración en donde se muestra una distribución de robots por aplicaciones. Aunque señala que los procesos de manipulación abarcan un 41%, este porcentaje es la suma de muchos procesos de manipulación donde entraría dentro de este campo la manipulación de objetos por succión o manipulación de maquinaria por ejemplo, quedándole a la aplicación de paletizado un porcentaje pequeño.

Cabe destacar que las aplicaciones más demandadas en un robot industrial con casi el 45% del volumen del gráfico son las tareas de soldadura.

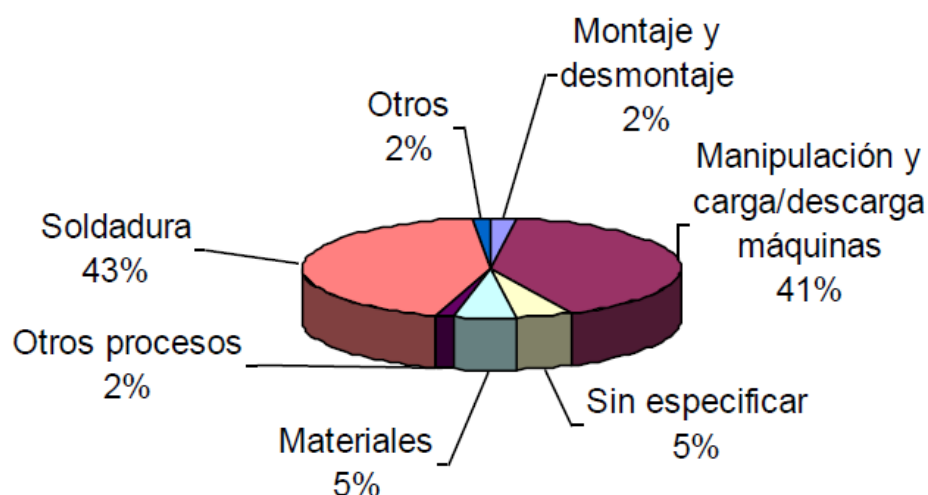


Ilustración 1.2 Gráfico de distribución de robots por aplicaciones (AerAtp, 2012)

Otro motivo potencial para la realización de este proyecto se basa en lo económicamente inviable que resulta para un instituto o centro educativo la compra de herramientas reales para las distintas aplicaciones existentes y poder así ampliar el nivel de su calidad de enseñanza.

Para paliar el déficit en las herramientas de robot para enseñanza, y basándose en el gráfico anterior, se ha decidido diseñar tres modelos distintos de herramientas, una pistola de soldadura, una pinza de soldadura por resistencia y un bastidor de ventosas de succión. A continuación se explica los objetivos que se quieren llegar a alcanzar en el desarrollo de este tipo de herramientas.



## **1.4 Objetivo de la pistola de soldadura**

En este proyecto, para el diseño de la pistola de soldadura se va a tener en cuenta que el material de su construcción sea ligero, ya que la muñeca del robot Ur5 tiene una carga máxima admisible de 5kg, que ofrezca facilidad de acoplar y de manejar las herramientas por parte de los usuarios, realismo en su construcción en cuanto a dimensiones y componentes, y que sea una opción interesante para los centros educativos por su facilidad de construcción y su precio reducido.

Ante la imposibilidad de poder comprar todo el equipo necesario, para realizar la soldadura, es decir, equipo de avance de hilo, bobina, sistema de refrigeración, mangueras... etc., se ha tomado la determinación de realizar el proceso de soldadura simulado. Esto quiere decir que no se podrá realizar un cordón de soldadura real, pero por medio de una o varias bombillas LED, se simulará cuando la pistola esta soldando o cuando no lo está, lo cual tiene como misión el facilitar la visualización de las operaciones por parte del usuario.

Esta elección no va a afectar a la enseñanza de la técnica de soldadura, ya que el diseño de la pistola contará con todos los componentes reales que posee una herramienta real. Todo el modelado de los componentes se hará con programa de diseño 3D Solidworks para más tarde fabricarlos por técnicas de prototipado.



### **1.5 Objetivo de la pinza de soldadura por resistencia**

El objetivo de la pinza de soldadura por puntos es hacerla con materiales ligeros por la restricción comentada anteriormente, ya que existen pinzas muy pesadas que pueden llegar a alcanzar los 50kg de peso, que sea fácilmente acoplable y desacoplable a la muñeca del robot, que sea de fácil construcción y precio reducido.

Aunque estas pinzas poseen mucho sistema auxiliar, como son los controladores, sensores de presión, actuadores... etc. En este proyecto se va a diseñar únicamente lo que es la parte que compone la pinza, es decir, electrodos, varillas, brazos, mecanismo de cierre y acoples al robot, lo que significa que no hará una soldadura real, si no que será simulada. También se quiere diseñar el circuito tanto neumático como eléctrico.

Como se muestra en el gráfico siguiente, el sector del automóvil posee más de la mitad de la demanda de robots industriales para sus procesos de fabricación. Estos robots son mayormente para soldadura, que se divide en robots para soldadura MIG/MAG y para soldar carrocerías donde se utiliza la técnica de soldadura por resistencia. Esto hace evidenciar que es necesaria la implantación de estas herramientas para robots en el sector educativo.

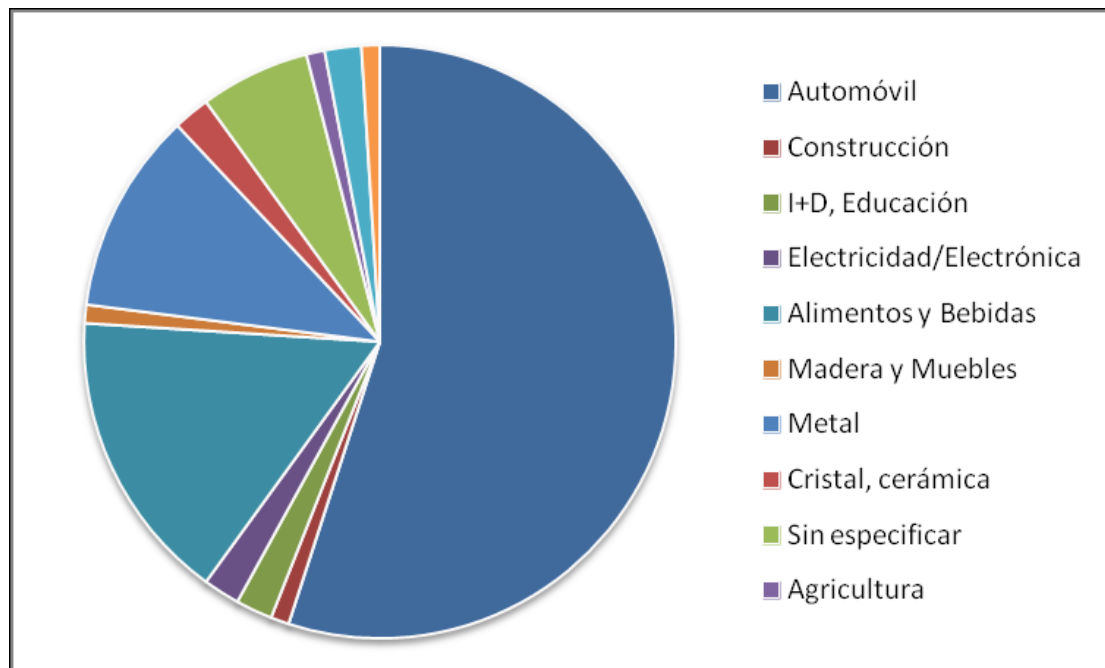


Ilustración 1.3 Gráfico de distribución de robots por sectores (AerAtp, 2012)

## **1.6 Objetivo del bastidor de ventosas**

El objetivo de este proyecto en cuanto al desarrollo del bastidor de ventosas es el diseño de una estructura sencilla que ofrezca la posibilidad de manipular planchas de distintos tamaños, de manera que se pueda coger planchas de materiales ligeros de cualquier forma dentro de un rango de tamaño y grosor de plancha a especificar más adelante, también que ofrezca facilidad de acople y desacople y que tenga un precio reducido. Se diseñará también tanto su esquema eléctrico y neumático así como la realización física de sus componentes con programa de diseño y tecnología de prototipado 3D.

A diferencia de las herramientas anteriores, en esta se quiere hacer la succión real, es decir, se instalaran todos los elementos correspondientes en la estructura para que esto pueda ser posible, tales como generadores de vacío, conexiones neumáticas... etc.

Por último, comentar que los robots industriales con herramientas de bastidores de ventosas son utilizados en muchos sectores industriales y en diferentes aplicaciones, por este motivo, se considera necesaria su implantación como herramienta didáctica. A continuación se describen algunas aplicaciones en las que están presentes los robots con bastidores de succión (Piab, 2014):

- Desapilar y apilar láminas en el sector del metal
- Estampados de formatos a medida
- Ensamble de piezas
- Ensamble de carrocerías
- Manipulación de paneles de vidrio/solares
- Retirar las piezas del molde en el sector del plástico en el moldeo por inyección
- Pruebas de calidad de mantenimiento de vacío en botellas de plástico

- Etiquetados
- Paletizado y despaletizado en cualquier sector

## **1.7 Estimación de la demanda de las herramientas a desarrollar**

En este punto se va a enumerar los distintos campos educativos en los cuales podrían estar interesados en la adquisición de las herramientas didácticas desarrolladas en este proyecto para la mejora de la enseñanza:

- Centros educativos concertados o privados en los que se impartan módulos relacionados con la robótica industrial.
- Centros de formación de industrias que hagan un uso intensivo de la robótica.
- Empresas que desarrollen instalaciones automatizadas para la industria.
- Centros de formación para trabajadores en activo o desempleados que impartan cursos con contenidos en robótica industrial.
- Universidades en las que se impartan contenidos de robótica industrial

Debido a la gran cantidad de centros educativos en la geografía española dedicados a este ámbito, se va a estimar únicamente en la comunidad foral de Navarra, ubicación donde se va a realizar el presente proyecto, aunque cabe decir que la demanda es extrapolable a toda España o a todo el mundo. Dicho esto, en el **Anexo 2** se va a dar información más concreta sobre los campos anteriores en Navarra.





## 2. Especificaciones

En este proyecto las especificaciones que deben cumplirse son de dos tipos:

- De carácter cuantitativo: Son los valores numéricos que acotan un diseño en un rango de valores válidos por ejemplo potencia que puede suministrar la fuente de alimentación del robot.
- De carácter cualitativo: Son especificaciones que tienen como objetivo mejorar la calidad de un producto para darle un mayor valor añadido.

En los siguientes puntos se explican tanto las especificaciones cuantitativas como las cualitativas:



## 2.1 Especificaciones cuantitativas

En este apartado, se va a comenzar describiendo en la siguiente tabla las especificaciones técnicas del robot UR5, ya que estas nos van a marcar la línea a seguir en el diseño de los componentes a instalar en las herramientas:

Tabla 2.1 Especificaciones técnicas del UR5 (Universal Robots, 2015)

Peso:	18,4 kg															
Carga:	5 kg															
Alcance:	850 mm															
Rango giro articulaciones:	+/- 360°															
Velocidad:	Articulación: Máx. 180°/s. Herramienta: Típico 1 m/s															
Repetibilidad:	+/- 0,1 mm															
Espacio necesario:	Ø149 mm															
Grados de libertad:	6 articulaciones giratorias															
Tamaño de la caja de control: (ancho x alto x largo)	475 mm x 423 mm x 268 mm															
Puertos de E/S:	<table><tr><td></td><td>Caja de control</td><td>Conector herramienta</td></tr><tr><td>Entradas digitales</td><td>16</td><td>2</td></tr><tr><td>Salidas digitales</td><td>16</td><td>2</td></tr><tr><td>Entradas analógicas</td><td>2</td><td>2</td></tr><tr><td>Salidas analógicas</td><td>2</td><td>-</td></tr></table>		Caja de control	Conector herramienta	Entradas digitales	16	2	Salidas digitales	16	2	Entradas analógicas	2	2	Salidas analógicas	2	-
	Caja de control	Conector herramienta														
Entradas digitales	16	2														
Salidas digitales	16	2														
Entradas analógicas	2	2														
Salidas analógicas	2	-														
Fuente de alimentación de E/S:	24 V 2A en caja de control y 12 V/24 V 600mA en herramienta															
Comunicación:	TCP/IP 100 Mbit: IEEE 802.3u, 100BASE-TX Ethernet socket & Modbus TCP															
Programación:	Interfaz gráfica de usuario PolyScope en pantalla táctil de 12" con soporte															
Ruido:	Relativamente silencioso															
Clasificación IP:	IP54															
Consumo de energía:	Aprox. 200W utilizando un programa típico															
Funcionamiento colaborativo:	15 Funciones de seguridad avanzadas Operaciones colaborativas de acuerdo con: EN ISO 13849:2008 PL d EN ISO 10218-1:2011, Cláusula 5.4.3															
Materiales:	Aluminio, plástico ABS, plástico PP															
Temperatura:	El robot puede funcionar en un intervalo de temperaturas de 0-50°C															
Fuente de alimentación:	100-240 VAC, 50-60 Hz															

## DISEÑO Y PROTOTIPADO DE HERRAMIENTAS DIDÁCTICAS PARA ROBOT COLABORATIVO

---

Tabla 2.2 Especificaciones técnicas de las herramientas

Consumo máx( A)	Peso máx. (Kg)	Presión de trabajo máx(Bar)	Alcance de las herramientas (mm)
1	4	7	850

- El consumo máximo de las herramientas no debe ser superior a 1A, ya que es lo que puede suministrar la fuente de alimentación del robot, de no ser así, sería necesario la adquisición de otra fuente de alimentación externa.

- El peso máximo de las herramientas no debe superar los 4kg de peso, ya que el robot sólo puede levantar 5 Kg y hay que dejar un margen de 1 Kg porque hay herramientas como el bastidor de ventosas que su función es el de levantar peso, por tanto la suma del peso más el de la herramienta no debe superar los 5kg.

- La presión máxima que puede suministrar la instalación neumática del C.I.P ETI, cuando el compresor está cargado al máximo alcanza los 7 bares, es decir, el material neumático debe estar pensado para trabajar en estas condiciones.

- Las dimensiones de las herramientas no deben de ser muy voluminosas para que el robot trabaje cómodamente dentro su radio de acción.

## 2.2 Especificaciones cualitativas

Para ampliar este apartado, se van a dar otras especificaciones de carácter cualitativo además de las ya mencionadas antes de carácter cuantitativo, las cuales se nombran a continuación:

- Facilidad de acoplar y de manejar las herramientas por los usuarios: Para la instalación de una herramienta en cualquier robot, es necesario conocer previamente las características de acople que posee en la muñeca. Para conocer mejor este detalle, se va a dar a conocer a título de ejemplo las características de la brida acoplada actualmente para una pinza de paletizado marca Robotiq. La brida posee cuatro agujeros M6 avellanados y cuatro agujeros pasantes en cada uno de sus laterales para la unión con la pinza:

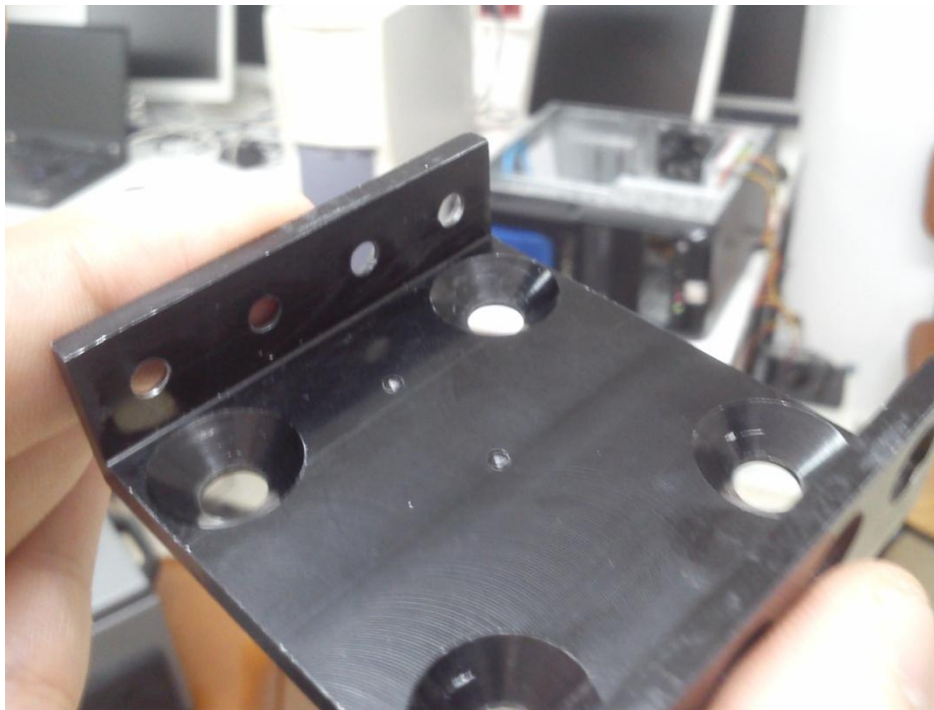


Ilustración 2.2 Brida para herramienta de la pinza de paletizado

La unión del conjunto entre la herramienta, la brida y la muñeca esta atornillada a ambos lados y queda de la siguiente manera:

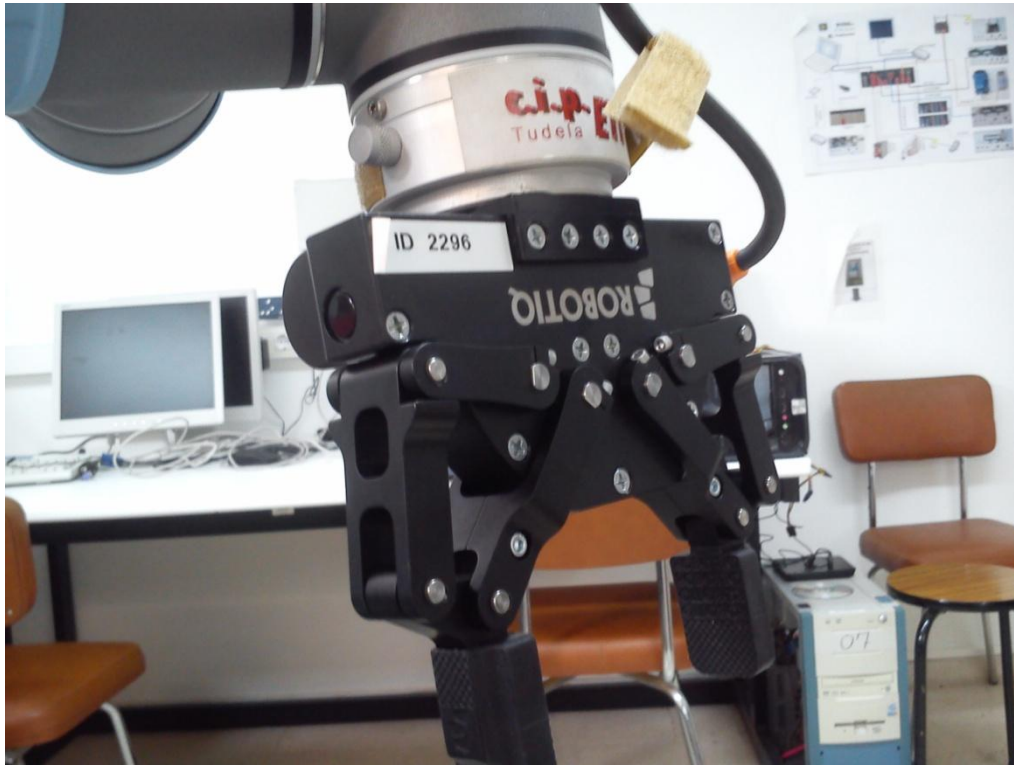


Ilustración 2.3 Unión del conjunto de la herramienta

Las bridas no están estandarizadas porque cada robot tiene sus propias especificaciones, pero sí que suelen tener las mismas características de construcción dentro de la misma casa y marca del robot, aunque por supuesto varíen las dimensiones según el modelo, tamaño del robot y máxima carga admisible de este. A continuación se muestra el plano de la muñeca del robot UR5 donde se acoplan las herramientas:

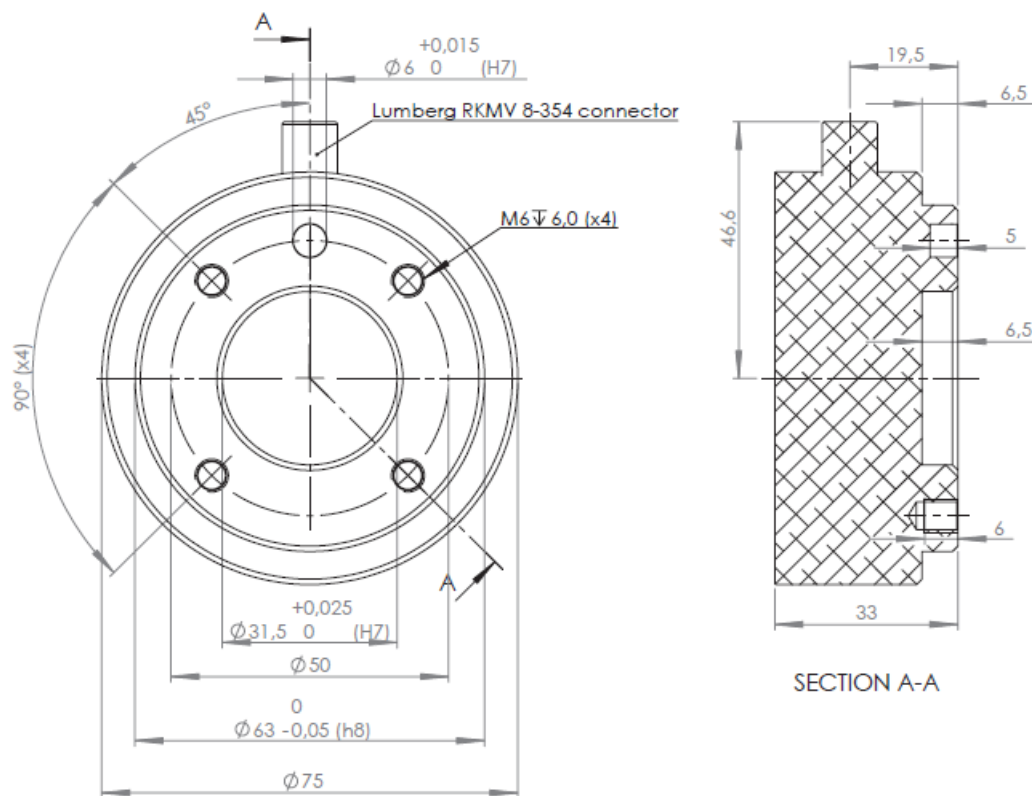


Ilustración 2.4 Plano de la muñeca del robot UR5 (Universal Robots, 2015)



Ilustración 2.5 Muñeca del robot UR5

Por estos motivos, los diseños de las herramientas marcadas por los objetivos de este proyecto van a estar condicionadas por su brida de acople, por lo tanto se hace necesario un diseño de brida la cual se detallará más adelante, ya que, la brida mostrada anteriormente solo es válida para esa herramienta.

- **Diseño realista:** Aunque en la herramienta de pistola de soldadura y la pinza no van a ser funcionales, se quiere realizarlas de forma que posea la mayor cantidad de componentes reales, además de que estéticamente haya pocas diferencias entre el modelo a desarrollar y la herramienta real.
- **Facilidad de visualizar la tarea:** Se quiere facilitar el aprendizaje por parte de los usuarios mediante señalización LED en las aplicaciones de las herramientas a desarrollar que no son funcionales, para de una forma intuitiva poder identificar los diferentes estados de la herramienta, cuando está trabajando o cuando está en modo de reposo.
- **Interés por los centros educativos:** Se quiere lograr que estas herramientas sean una opción seductora para los centros educativos que impartan contenidos para la enseñanza de la robótica industrial.
- **Facilidad de montaje:** Se quiere lograr que los diseños sean de fácil montaje y que sea de la menor utilización de herramienta posible.
- **Coste reducido:** Una de las especificaciones más importantes es que las herramientas sean eficientes en cuanto a materiales y proceso de fabricación puesto que es uno de los pilares fundamentales en los que se basa este proyecto.



- Facilidad de mantenimiento: Un buen diseño de cualquier herramienta o aparato siempre implica un mantenimiento sencillo, cómodo y accesible.



### **3. Análisis de alternativas**

En este apartado se va a estudiar las diferentes alternativas comerciales existentes en el mercado para más tarde escoger una solución para la herramienta del robot UR5. Las herramientas a analizar en el presente proyecto son: Bastidores de ventosas de succión, diferentes modelos de pistolas de soldadura y por último diferentes modelos de pinzas de soldadura por puntos.



### 3.1 Bastidores de ventosas

Para conocer las diferentes alternativas existentes se ha escogido 2 catálogos de empresas multinacionales especialistas en sistemas de succión automatizada, las empresas escogidas son:

#### **SAS AUTOMATION:**

Es uno de los mayores proveedores del mundo de modular de componentes basados en robótica y sistemas de agarre. Son especialistas en adaptar cada herramienta a las diferentes marcas de robot utilizados en la fabricación, en envasado y en las industrias de moldeo por inyección de plástico (SAS AUTOMATION, 2014)



#### **ASS AUTOMATIONS SYSTEME:**

Es una empresa alemana líder en tecnología para componentes de sujeción, manos de robot, y sistemas de automatización. Son especialistas en trabajos complejos como en el procesamiento de plásticos, en el agarre, carga y descarga (ASS AUTOMATIONS-SYSTEME, 2014).



Para poder orientar mejor el análisis se va a hacer una primera clasificación de bastidores según su estructura de construcción:

#### **3.1.1 Estructura fija**

Este tipo de bastidores son para el manejo de grandes lotes de piezas planas similares como puede ser planchas de plástico o cartón. Su principal ventaja es que es de construcción más sencilla y barata, pero no es posible su adaptación a cambios en la producción para diferentes piezas a trabajar.

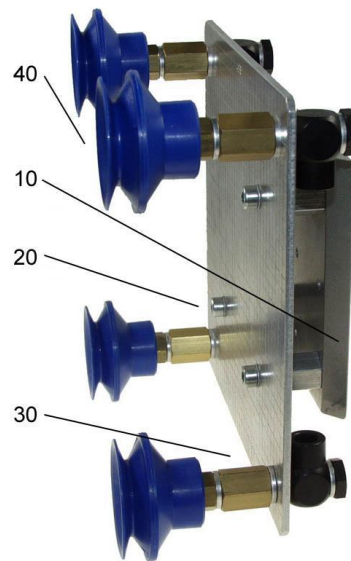


Ilustración 3.1 Ejemplo de bastidor fijo (hellopro, 2015)

### 3.1.2 Estructura variable

Son los bastidores más empleados en la industria robótica, ya que con su gran variedad de accesorios, perfiles y conectores es posible modificar la distancia entre ventosas por medio de las guías del perfil así como su posición angular de las mismas respecto al perfil. Esto permite adaptar el bastidor a poder levantar piezas de dimensiones distintas y más complejas sin cambiar bastidor.

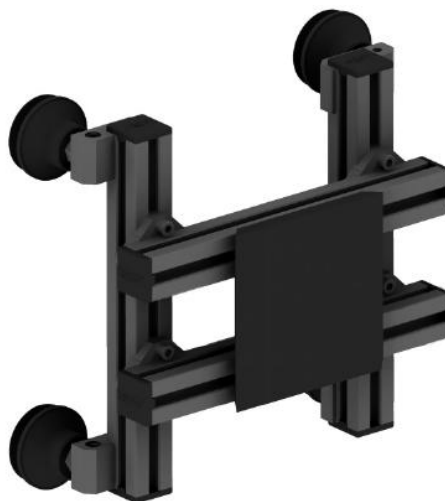


Ilustración 3.2 Bastidor de estructura variable (ASS AUTOMATION-SYSTEME, 2014)

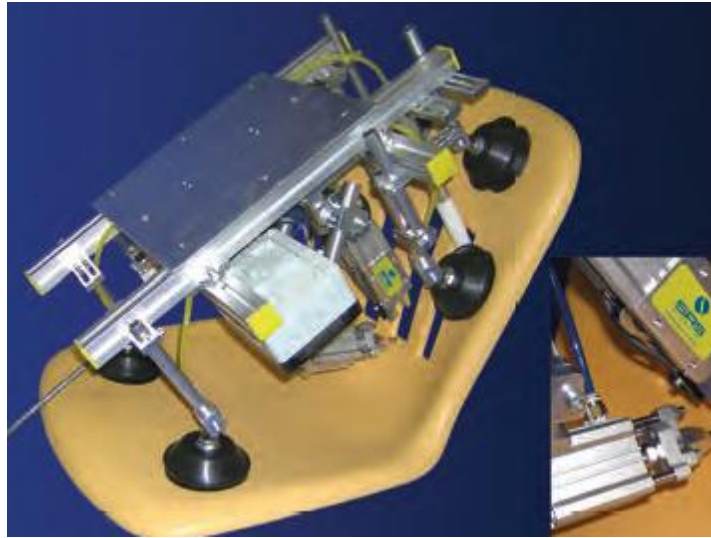


Ilustración 3.3 Bastidor de estructura variable (SAS AUTOMATION, 2014)

### 3.1.3 Accesorios mecánicos

Existe una gran variedad de accesorios, agarres y perfiles para diseñar una estructura de bastidor de ventosas según se requiera aplicación. En este apartado se va a explicar cada uno de los accesorios principales a la hora de seleccionar un bastidor.

- **Placa de base:** Se trata de la placa que va unida a la brida del robot, tal y como se ve en la ilustración 4 y 5, lleva unas guías situadas linealmente en los laterales donde se montan los perfiles y un patrón de agujeros fabricados por encargo según requiera la brida de agarre del robot. Estas placas existen en varios espesores para levantar más o menos carga útil.

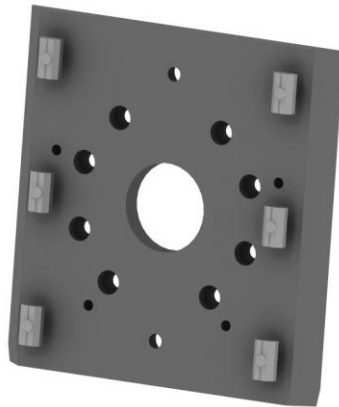


Ilustración 3.4 Placa de base (ASS AUTOMATION-SYSTEME, 2014)



Ilustración 3.5 Placa de base (SAS AUTOMATION, 2014)

- **Perfiles de montaje:** Los perfiles se montan sobre las guías de la placa de base tal y como se ve en la ilustración 6, los hay de gran variedad de formas y tamaños. Entre sus ventajas destacan la facilidad, rapidez y limpieza en el montaje, la versatilidad que ofrece en el diseño de estructuras, compatibilidad con otros sistemas existentes en el mercado. Se venden ya cortado y mecanizado a la medida solicitada, en kit o en barras (Paramio, 2009).





Ilustración 3.6 Perfiles montados (ASS AUTOMATION-SYSTEME, 2014)

A continuación se muestran varios ejemplos de diferentes perfiles:

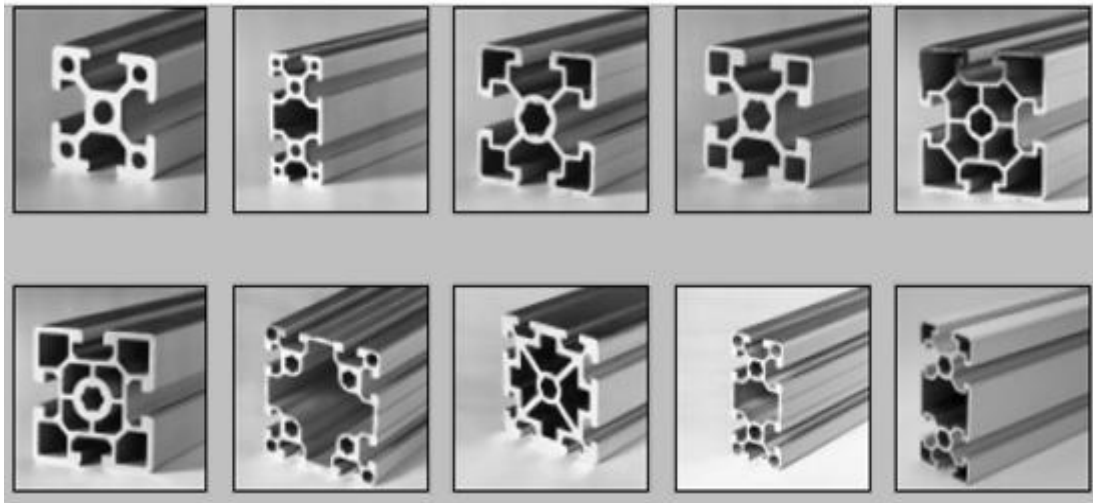


Ilustración 3.7 Perfiles comerciales (Paramio, 2009)

También existen perfiles circulares como propone S.A.S automation en los que por medio de abrazaderas metálicas se unen a la placa de base, este diseño ofrece una buena capacidad de ajustabilidad y de peso más ligero que lo que puede ser los otros perfiles aunque posee menos consistencia que estos.

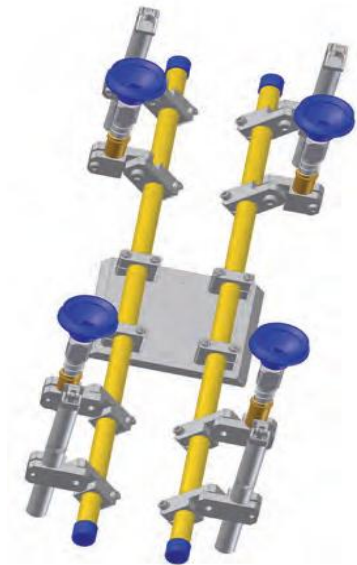


Ilustración 3.8 Ejemplo de estructura con perfil circular (SAS AUTOMATION, 2014)

Estos perfiles circulares existen en gran variedad de formas y tamaños tal y como muestra la siguiente ilustración:



Ilustración 3.9 Ejemplo de perfiles circulares (SAS AUTOMATION, 2014)

- **Eslabones de agarre:** Estos elementos se montan dentro de las guías de los perfiles como elemento de unión de los conectores a los perfiles.

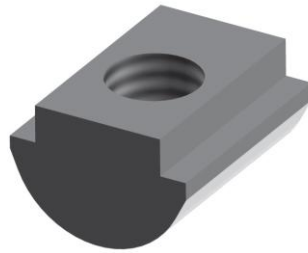


Ilustración 3.10 Eslabón de unión (ASS AUTOMATION-SYSTEME, 2014)

Se montan introduciéndolo en el perfil y después se orienta de tal manera que el agujero roscado quede en dirección normal al perfil tal y como se ve en la siguiente ilustración:



Ilustración 3.11 Montaje del eslabón (ASS AUTOMATION-SYSTEME, 2014)

Por último se fija al conector por medio de uno o varios tornillos:

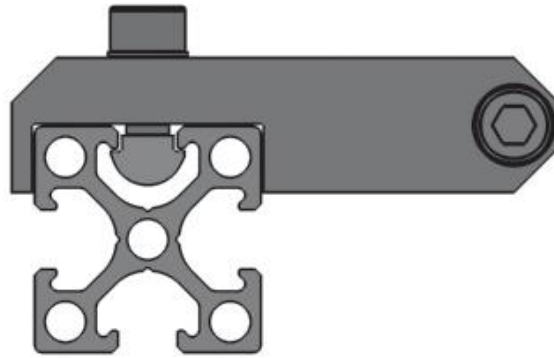


Ilustración 3.12 Montaje del conector (ASS AUTOMATION-SYSTEME, 2014)

Los eslabones encargados de unir el perfil circular con la placa de base son los que se muestran a continuación, pueden ser de capacidad para uno o varios perfiles según su número de agujeros:



Ilustración 3.13 Eslabón de agarre para perfil circular (SAS AUTOMATION, 2014)

- **Conectores:** Son los elementos que se montan sobre el perfil y que van a sujetar los cuerpos de las ventosas, a continuación se muestra distintos tipos de conectores:

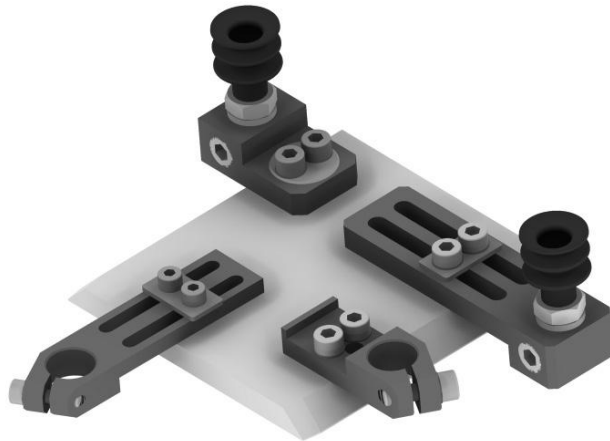


Ilustración 3.14 Ejemplo de conectores (ASS AUTOMATION-SYSTEME, 2014)



Ilustración 3.15 Ejemplo de conectores para perfiles circulares (SAS AUTOMATION, 2014)

Llevar como elementos de unión al menos dos tornillos y van unidos a los eslabones de unión en el caso de los perfiles cuadrados y en el caso de los perfiles circulares van directamente al perfil:



Ilustración 3.16 Conectores montados en el perfil (ASS AUTOMATION-SYSTEME, 2014)



Ilustración 3.17 Conectores montados en el perfil circular (SAS AUTOMATION, 2014)

También existe la posibilidad de darles cierto ángulo para mayor libertad de posición, ya que existe la posibilidad de que la pieza a levantar tenga agujeros en el material como en un proceso de fabricación de troquelado por ejemplo.



Ilustración 3.18 Conectores que permiten posiciones angulares (ASS AUTOMATION-SYSTEME, 2014)

Los conectores suelen llevar en su extremo opuesto al del perfil una mordaza para sostener el cuerpo de la ventosa

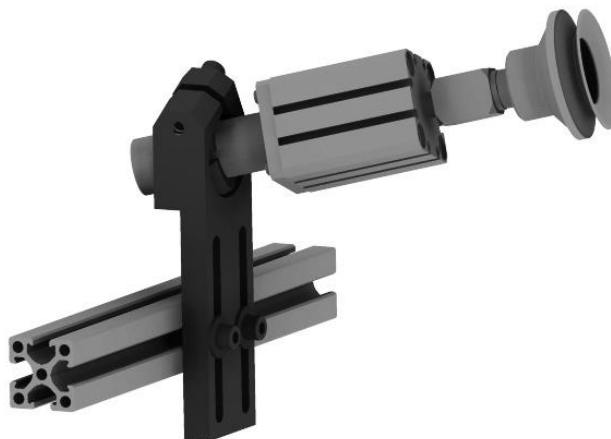


Ilustración 3.19 Montaje cuerpo de la ventosa en el conector (ASS AUTOMATION-SYSTEME, 2014)

- **Ventosas:** Las ventosas son los elementos que realizan el agarre, es decir, la succión del material. Para su análisis, primero se va a mostrar en la siguiente tabla los diferentes materiales existentes en la fabricación de ventosas así como un indicador orientativo de sus principales propiedades más importantes:

## DISEÑO Y PROTOTIPADO DE HERRAMIENTAS DIDÁCTICAS PARA ROBOT COLABORATIVO

Tabla 3.1 Propiedades de los materiales de ventosas (ASS AUTOMATION-SYSTEME, 2014)

Propiedades	Nitrilo (N)	Silicona (S)	Poliuretano de alta T° (HE)	Poliuretano (P)	Viton (V)
Color	Negra	Translúcida	Azul	Azul	Negra
R. al desgaste	Buena	Baja	Muy buena	Muy buena	Baja
R. contra deformación permanente	Buena	Buena	Buena	Baja	Muy buena
R. al aceite	Excelente	Baja	Excelente	Muy buena	Excelente
R. a disolventes	Buena	Buena	Buena	Baja	Muy buena
R. General a los ácidos	Baja	Baja	Baja	Baja	Muy buena
R al corte	Buena	Baja	Buena	Muy buena	Buena
R. a Temperatura	( -10 a 70°)	( -30 a 180°)	( -10 a a 140°)	( -30 a 80°)	( -10 a 200°)
Dureza Shore DIN 53505	40 a 90	(30 a 85)	60+/-5	55	65+/-5

Existe una gran variedad de ventosas, tamaños y cuerpos de ventosas según se requiera el peso a levantar o forma geométrica a levantar. Las ventosas se designan por medio del material y su área de succión:

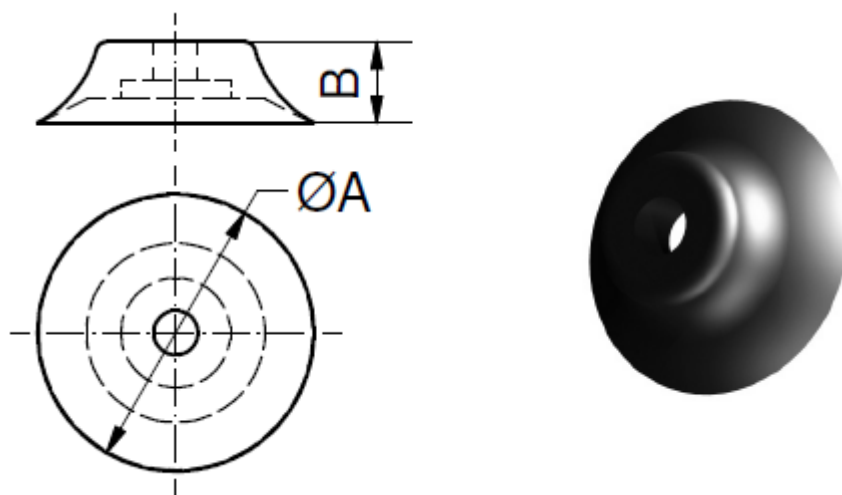


Ilustración 3.20 Designación de una ventosa (ASS AUTOMATION-SYSTEME, 2014)

Para calcular la fuerza de sujeción de una ventosa se aplica la formula:

$$F_s [N] = A [cm^2] \times P_u \left[ \frac{N}{cm^2} \right]$$

Ilustración 3.21 Formula de cálculo de la fuerza de sujeción (ASS AUTOMATION-SYSTEME, 2014)



Donde:

FS = Fuerza de sujeción

A = Área de trabajo

Pu = Presión de vacío

Existen muchos tipos de ventosas para diferentes aplicaciones según su tipo de construcción, a continuación se dan a conocer algunos tipos de ventosas y su aplicación:

- Ventosas compactas: Se utilizan en aplicaciones en las que el ahorro de espacio es importante:



Ilustración 3.22 Ventosas compactas (SMC, 2015)

- Ventosas planas: Son las más comunes y se utilizan para chapas o vinilos de superficie poco porosa:



Ilustración 3.23 Ventosa plana (SMC, 2015)

- Ventosas de esponja: Son ventosas que son requeridas cuando la superficie a levantar posee elevados abultamientos:



Ilustración 3.24 Ventosa de esponja (SMC, 2015)

- Ventosas de fuelle: Son ventosas para aplicaciones en las que la pieza de trabajo es esférica, plana o inclinada:

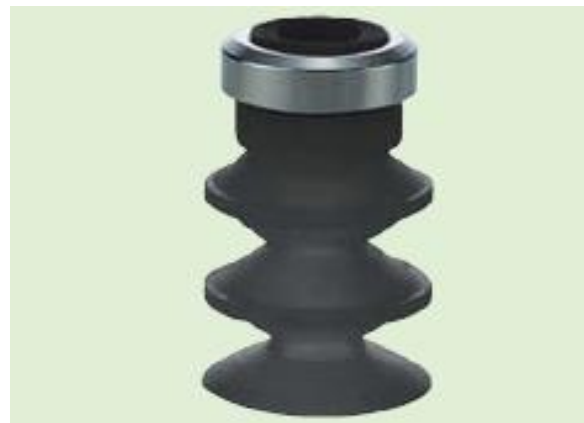


Ilustración 3.25 Ventosa de fuelle (SMC, 2015)

- Ventosa ovalada: Son para piezas de trabajo rectangulares:



Ilustración 3.26 Ventosa ovalada (SMC, 2015)

La presión de vacío también es importante para elegir una ventosa, esta va en función de la presión de trabajo, en el siguiente gráfico se muestra un ejemplo de cálculo rápido en la gráfica de presión de vacío frente a presión de trabajo. Si se pone de ejemplo la presión de trabajo de 4 bar se obtiene que la presión de vacío será un poco mayor de 0,8 bar para ese generador de vacío. Esta característica viene dada por el fabricante. (Tecnum, 2008).

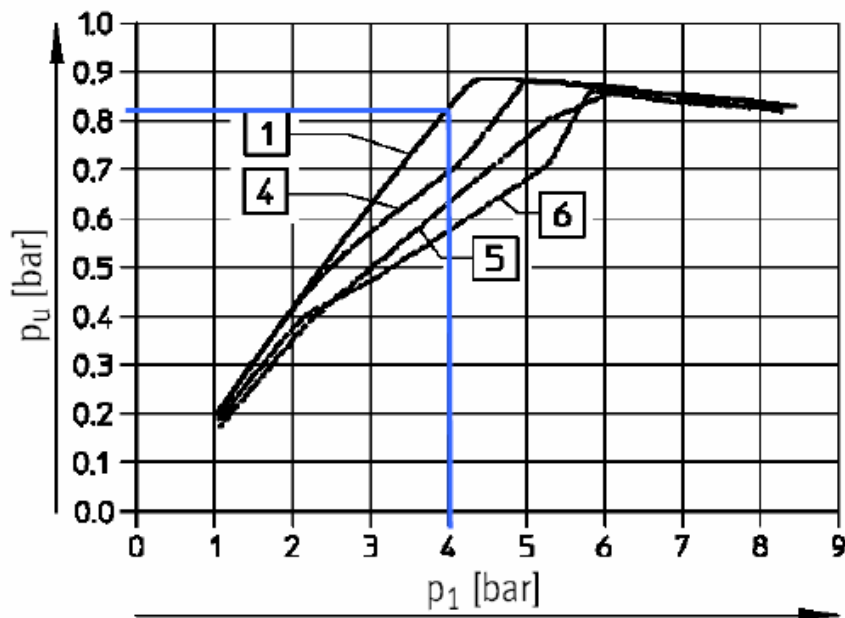


Ilustración 3.28 Gráfico de presión de vacío frente a presión de trabajo (Tecnum, 2008)



### 3.1.4 Accesorios neumáticos

Hasta ahora hemos abordado la construcción mecánica de un bastidor de ventosas, en este punto se va a mostrar los diferentes componentes neumáticos comerciales existentes que lleva un bastidor de ventosas:

- **Generador de vacío:** Es el elemento encargado de crear el vacío en las ventosas, esto se consigue por efecto venturi. Lleva una entrada lateral que es la alimentación de aire comprimido y dos salidas. Una es el escape y la salida de mayor diámetro es donde se crea la succión.

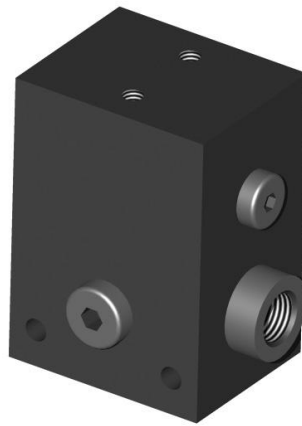


Ilustración 3.29 Generador de vacío de -0,85 bar (ASS AUTOMATION-SYSTEME, 2014)

Este componente lleva incorporado internamente una válvula anti retorno y un estrangulamiento para poder crear el gradiente de velocidad necesario para tener una presión negativa en la salida U. La entrada P es la entrada de aire comprimido y la salida R es el escape.

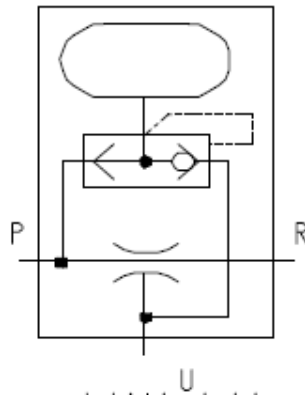


Ilustración 3.30 Esquema neumático de un generador de vacío (ASS AUTOMATION-SYSTEME, 2014)

- **Válvula de flujo inteligente:** Es una válvula de seguridad que se le puede añadir al sistema, su función es prevenir que cuando hay varias ventosas trabajando, y una o más falla por un mal contacto con la pieza, provoca que las ventosas restantes dejen de tener vacío. Este componente previene la caída de la plancha a manipular colocándolo en serie con cada ventosa.



Ilustración 3.31 Válvula de flujo inteligente (ASS AUTOMATION-SYSTEME, 2014)



Ilustración 3.32 Válvula de flujo inteligente (SAS AUTOMATION, 2014)

El esquema neumático de la instalación de una válvula de flujo inteligente se muestra en la siguiente ilustración siendo:

- 1- Generador de vacío
- 2- Distribuidor de vacío
- 3- Válvula de flujo inteligente
- 4- Ventosas

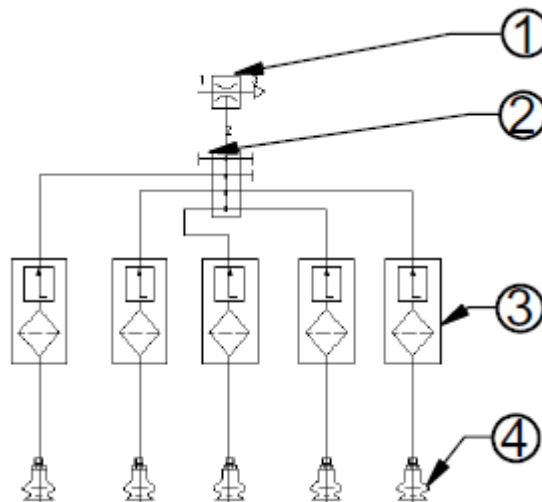


Ilustración 3.33 Instalación de la válvula de flujo inteligente (ASS AUTOMATION-SYSTEME, 2014)

- **Manguera neumática:** Son los elementos encargados de conducir el flujo de aire comprimido en la instalación. Se designan por medio de diámetro exterior e interior de los mismos. Se suelen vender en rollos de 10 o 20 metros.



Ilustración 3.34 Manguera neumática (ASS AUTOMATION-SYSTEME, 2014)

- **Conectores de mangueras:** Son los elementos encargados de hacer los empalmes entre mangueras. El sistema de enganche es un sistema push-pull. Los hay de varias formas y tamaños según se requiera instalación. A continuación se muestran algunos ejemplos de conectores más comunes:



Ilustración 3.35 Conector recto (ASS AUTOMATION-SYSTEME, 2014)



Ilustración 3.36 Conector en T (ASS AUTOMATION-SYSTEME, 2014)





Ilustración 3.37 Conector en Y (ASS AUTOMATION-SYSTEME, 2014)



### **3.2 Pistolas de soldadura**

Las principales y más importantes empresas mundialmente conocidas que hacen robots para soldadura son KUKA, YASKAWA, FANUC, ABB y KAWASAKI. Estos suelen tener sus propios proveedores de equipos de soldadura para sus diseños de robots industriales. Los sistemas de soldadura automatizada más comunes en el mercado son soldadura por arco TIG y MIG/MAG. Antes de analizar las diferentes soldaduras se va a estudiar los diferentes equipos para soldadura de cada proveedor. Aunque existen muchos proveedores de equipos de soldadura, en este proyecto se van a analizar los principales, que son: Fronius, Esab, Miller y Selco (Mecalux logismarket, 2015).

### 3.2.1 Equipos de soldadura marca Fronius

Esta empresa de origen Austriaco es especialista en crear tecnologías y soluciones para controlar la energía. Para Sistemas de Carga de Baterías, Tecnología de Soldadura y Electrónica Solar (Fronius, 2015). A continuación se muestra un robot KUKA con equipo de soldadura Fronius:

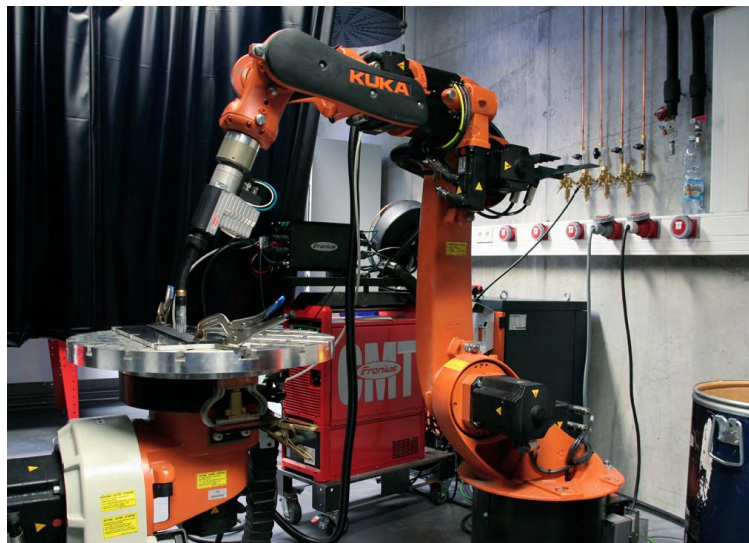


Ilustración 3.38 Robot KUKA con equipo de soldadura Fronius (KUKA, 2015)

#### 3.2.1.1 Soldadura MIG/MAG

Para empezar se va a explicar los diferentes componentes que posee un sistema de soldadura MIG/MAG, para ello, A continuación se muestra el montaje del equipo de soldadura montado en un robot ficticio hecho con programa de diseño:



Ilustración 3.39 Estructura de montaje soldadura MIG/MAG en robot ficticio (Fronius, 2015)

Componentes del equipo:

- Avance de hilo: Es el sistema encargado de proporcionar el material de aporte mediante accionamiento de 4 rodillos desde el carrete de hilo hasta la pieza de trabajo (Fronius, 2015).



Ilustración 3.40 Avance de hilo (Fronius, 2015)

- Buffer: Es el sistema encargado de desacoplar el accionamiento de hilo delantero del trasero así como proporcionar un mejor transporte de hilo (Fronius, 2015):



Ilustración 3.41 Buffer (Fronius, 2015)

- Fuente de corriente de soldadura MIG/MAG: Esta controlada por microprocesador con regulación de parámetros digital, su función es proporcionar una extraordinaria precisión así como unas excelentes propiedades de soldadura (Fronius, 2015).



Ilustración 3.42 Fuente de energía (Fronius, 2015)

- Unidad de refrigeración: Este elemento se encarga de refrigerar con agua o aire la antorcha de soldadura, en este caso agua (Fronius, 2015).



Ilustración 3.43 Unidad de refrigeración

- Antorcha: Es el elemento que va a estar en contacto con la pieza a soldar y que por medio del hilo consumible va a ser posible la soldadura.



Ilustración 3.44 Pistola de soldadura MIG/MAG (Fronius, 2015)

Puesto que uno de los objetivos de este proyecto es el diseño de una pistola de soldadura para el robot UR5 se va a hacer un análisis más profundo las posibilidades que ofrece la marca Fronius en pistolas para soldadura MIG/MAG.

### 3.2.1.2 Pistolas de soldadura para MIG/MAG




Las antorchas están disponibles como modelo refrigerado por aire y por agua. Las soluciones del cuerpo de la antorcha se hacen a petición del cliente, entre los parámetros a seleccionar están los ángulos personalizados, las longitudes y las geometrías de antorchas según se requiera las condiciones de soldadura, lo que da a un abanico de posibilidades bastante amplio.



Ilustración 3.45 Posibilidades en un diseño de antorcha (Fronius, 2015)

A continuación se muestra un catalogo estándar de antorchas, se dividen en las refrigeradas por agua o por gas, por intensidad de corriente, y según su ángulo de cuerpo:






Tabla 3.2 Antorchas refrigeradas por gas (Fronius, 2015)

REFRIGERADO POR GAS		Corriente de soldadura con		Duración de conexión	Ángulo de cuerpo
		CO <sub>2</sub>	ArCO <sub>2</sub>		
	<b>Robacta MTG 2500</b> El modelo delgado para aplicaciones en la gama de potencia inferior	250 A	200 A	60%	22°, 36°, 45°
	<b>Robacta MTG 3200</b> El cuerpo de antorcha de acceso pero potente a la vez	320 A	260 A	60%	22°, 36°, 45°
	<b>Robacta MTG 4000</b> El modelo más potente entre los cuerpos de antorcha refrigerados por gas para altos rendimientos de fusión	400 A	320 A	60%	22°, 36°, 45°



## DISEÑO Y PROTOTIPADO DE HERRAMIENTAS DIDÁCTICAS PARA ROBOT COLABORATIVO

Tabla 3.3 Antorchas refrigeradas por agua (Fronius, 2015)

REFRIGERADO POR AGUA		Corriente de soldadura	Duración de conexión	Ángulo de cuerpo
	<b>Robacta 2500</b> El modelo extra-delgado para la gama de potencia inferior	250 A	100%	0°, 22°, 36°, 45°, 60°
	<b>Robacta 280</b> El modelo de acceso para aplicaciones en la gama de potencia inferior	280 A	100%	0°, 22°, 36°, 45°, 60°
	<b>Robacta 300 y 400</b> El modelo delgado para la gama de potencia media	350 A / 400 A	100%	0°, 22°, 36°, 45°
	<b>Robacta 5000 y 500</b> El todoterrenista entre los cuerpos de antorcha refrigerados por agua	500 A	100%	0°, 22°, 36°, 45°
	<b>Robacta 7000 y 700</b> El modelo más potente entre los cuerpos de antorcha refrigerados por agua para máximos rendimientos de fusión	700 A	100%	0°, 22°, 36°, 45°

También son posibles diferentes longitudes de paquete de mangueras. Los diferentes componentes del sistema están ajustados de forma óptima entre sí y preparados específicamente para el correspondiente robot. (Fronius, 2015). Existen los paquetes de mangueras exteriores, o paralelamente respecto al brazo de robot tal y como se ve en la siguiente ilustración:

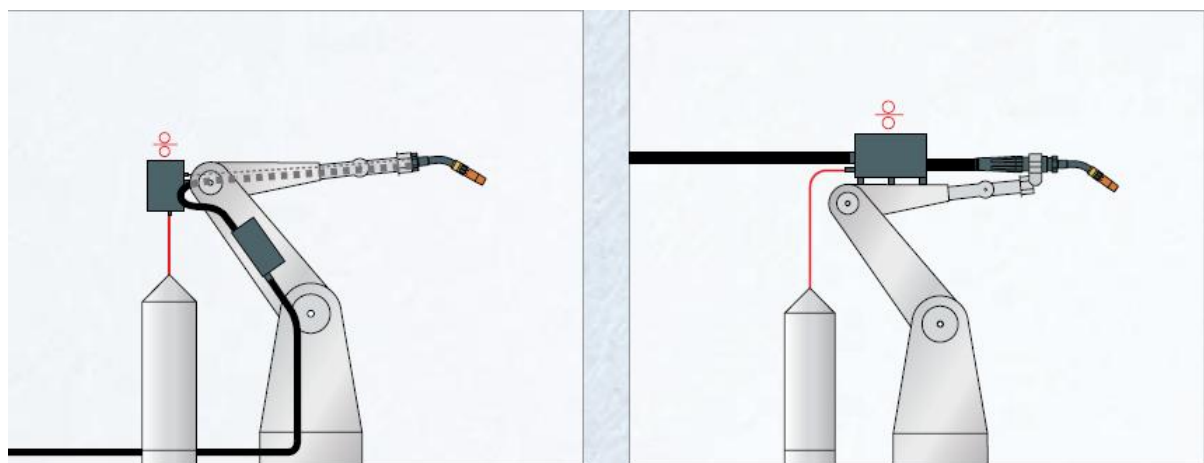


Ilustración 3.56 Esquema manguera interior y exterior (Fronius, 2015)

La elección de colocar la manguera por dentro o por fuera tiene una serie de ventajas e inconvenientes, a continuación se nombran algunas de ellas:

Ventajas manguera interior:

- El tiempo de vida de la manguera y la carcasa se alarga debido a que van protegidos (ABB, 2015).
- Evita paradas en líneas de producción por mangueras defectuosas ya sea por golpes o desgarros, problema frecuente según (ABB, 2015).
- Mejor accesibilidad y ganancia de espacio físico

Inconvenientes manguera interior:

- Encarecimiento del robot
- De construcción más compleja
- No es posible su instalación si su robot no está acondicionado para ello

Ventajas manguera exterior:

- Acoplable a cualquier robot
- Diseño de robot más sencillo y barato

Inconvenientes manguera exterior:

- No tiene protección de posibles golpes o desgarros en la manguera
- Pérdida de espacio físico

### 3.2.1.3 Soldadura TIG

La soldadura TIG lleva los mismos componentes que los ya explicados antes (pág. 15-18) pero este tipo de soldadura se le considera de electrodo no consumible, porque su electrodo casi no se desgasta tras un uso prolongado por lo tanto no es necesario el buffer suprimiéndose en este sistema. A continuación se muestra un montaje de equipo de soldadura TIG en un robot ficticio:



Ilustración 3.57 Estructura de montaje soldadura TIG en robot ficticio (Fronius, 2015)

### 3.2.1.4 Pistolas de soldadura TIG

Esta marca posee dos diseños estándar para pistolas TIG, no tiene tanto abanico de posibilidades para esta clase de pistola de soldadura, esta marca posee el modelo Robacta TTW 4000 y el 4500 que señalan el amperaje máximo admisible de 400A y 450A respectivamente en DC.

- Robacta TTW 4000: Esta antorcha esta refrigerada por agua con cabeza de la antorcha intercambiable. Adecuada para una corriente de soldadura hasta máx. 400A (Fronius, 2015)

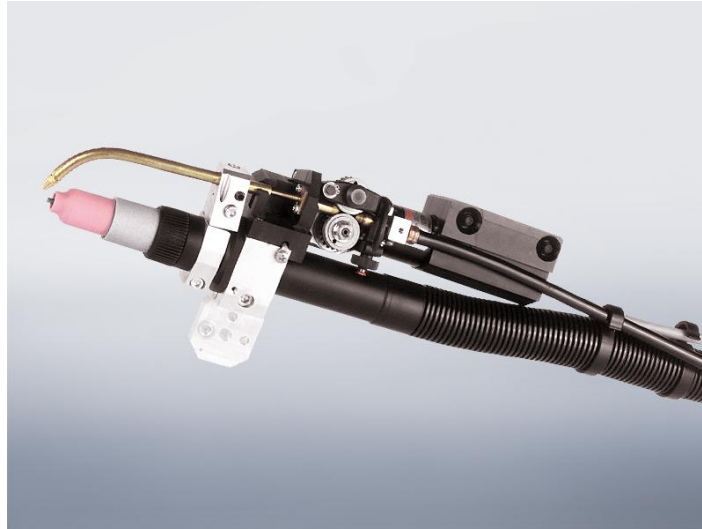


Ilustración 3.58 Pistola TIG Robacta TTW 4000 (Fronius, 2015)

Datos técnicos:

Tabla 3.4 Datos técnicos Robacta TTW 4000 (Fronius, 2015)

Longitud de manguera(m)	Corriente de soldadura AC	Corriente de soldadura DC	Ciclo de trabajo	Manguera Ø mm
6.00-8.00	280 A	400 A	60%	1.00-4.00

- Robacta TTW 4500: Esta antorcha esta refrigerada por gas. Adecuada para una corriente de soldadura hasta máx. 450A (Fronius, 2015)

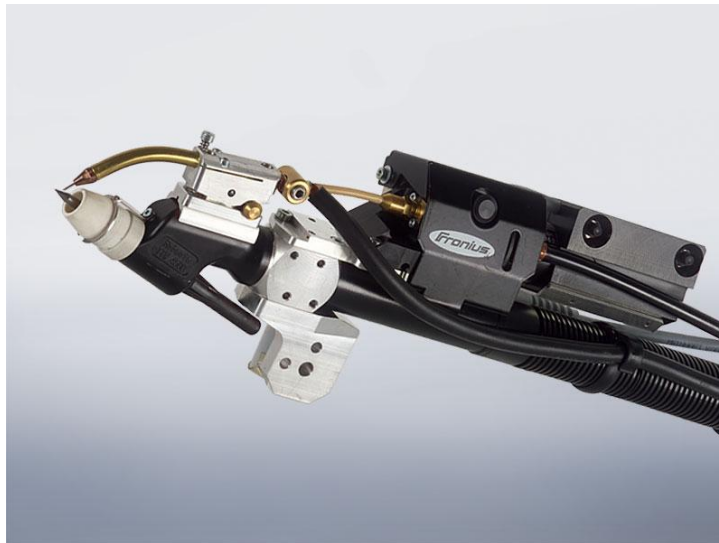


Ilustración 3.59 Pistola TIG TTW 4500 (Fronius, 2015)

Datos técnicos:

Tabla 3.5 Datos técnicos Robacta TTW 4500 (Fronius, 2015)

Longitud de manguera(m)	Corriente de soldadura AC	Corriente de soldadura DC	Ciclo de trabajo	Manguera Ø mm
6.00-8.00	330 A	450 A	60%	1.60-4.80

### 3.2.2 Equipos de soldadura marca ESAB

Su fundador, Oscar Kjellberg, desarrolló el primer electrodo de soldadura del mundo en 1904, y lanzó esta empresa cuya innovación ha ayudado a crear la historia de la soldadura misma. ESAB es líder mundial en la producción de equipos de soldadura, corte y consumibles (ESAB, 2015).



Los equipos y sistemas de mangueras son similares a los de otras marcas, sus antorchas pueden llevar las mangueras por dentro o por fuera y son compatibles para diferentes configuraciones de robots de marcas KUKA, ABB, MOTOMAN Y FANUC, por lo tanto en los siguientes puntos se van a centrar en las diferentes pistolas y técnicas de soldadura.

#### 3.2.2.1 Pistolas MIG/MAG

Esta marca posee tres modelos de antorchas MIG/MAG refrigerados por gas y tres modelos de agua enfriada disponible en diferentes ángulos de cuello compatibles con muchos de los principales fabricantes de robots. Con una larga vida de los consumibles, el cuerpo de la antorcha y repuestos. Posee un sistema de cambio rápido para la antorcha.(ESAB, 2015).



Ilustración 3.60 Pistola MIG/MAG marca ESAB (ESAB, 2015)

### 3.2.2.2 Pistolas de soldadura en tándem

Se trata de una variante de la soldadura MIG/MAG de doble hilo y gran rendimiento con una alta velocidad de soldadura. Se compone de dos hilos muy cercanos uno al otro que avanzan conjuntamente fundiéndose en un doble arco. Se hace trabajar electrónicamente sincronizadas, dos máquinas de soldadura alimentan dos circuitos eléctricos de soldadura, aislados uno del otro para un óptimo desarrollo del proceso que permite regular los parámetros de soldadura separadamente para cada arco. Así, se puede por ejemplo, soldar con una combinación de arco normal y arco pulsado, o bien, utilizando dos hilos de distintos diámetros simultáneamente (CLOOS, 2012).



Ilustración 3.61 Pistola de soldadura en tándem (ESAB, 2015)

Estas antorchas están disponibles para los siguientes paquetes robóticos:

- Muñeca estándar (cable externo)
- Helix - Muñeca Hollow (+/- 220 °)

Esta marca posee tres modelos refrigerados por gas y tres modelos refrigerados por agua, están disponibles en diferentes ángulos de cuello.

Características Especiales

- Consumibles de larga vida, el cuerpo de la antorcha ya viene con repuestos
- Sistema de antorcha de cambio rápido
- Sustitución de cable simple

Las antorchas refrigeradas por agua o gas utilizan las mismas piezas de repuesto. Las boquillas de gas roscadas tienen sujeción adicional para una mejor transferencia de calor que prolonga la vida de los consumibles (ESAB, 2015).

### **3.2.2.3 Antorchas de hueco estrecho**

Son antorchas preparadas para soldar en lugares estrechos. Estos cuellos de antorcha son útiles en lugares difíciles de alcanzar con refrigeraciones de gas y por agua. Se puede girar la boquilla para alcanzar diferentes posiciones de soldadura. También es posible su construcción con geometrías diferentes petición del cliente (ESAB, 2015).



Ilustración 3.62 Antorcha de hueco estrecho (ESAB, 2015)



### Especificaciones

Tipo de gas	Gas mixto
-------------	-----------

Diámetro del hilo	.03-.05 in.
-------------------	-------------

Tipo de gas	CO <sub>2</sub>
-------------	-----------------

---

### Especificaciones de Potencia

Capacidad / Ciclo de trabajo (ciclo de 10 min.), Refrigeración por gas	250 A a 60 %
--	--------------

---

Capacidad / Ciclo de trabajo (ciclo de 10 min.), Refrigeración por gas	300 A a 60 %
--	--------------

---

### Peso

Peso	1.5lb
------	-------

---

#### 3.2.2.4 Pistolas de soldadura por fricción

Este tipo de soldadura es un proceso en estado sólido en el que el calor se genera por la fricción mecánica entre un componente en rotación y una parte estática (Revistatope, 2010). La pistola de fricción ESAB permite uniones de estructuras complejas siendo esta técnica de soldadura, ideal para el aluminio o similares en los que el punto de fusión del materia es relativamente bajo. El equipo de soldadura se coloca integrado en la estructura mecánica del robot (ESAB, 2015).



Ilustración 3.63 Soldadura por fricción (ESAB, 2015)

### 3.2.3 Equipos de soldadura marca Miller

Empresa con sede en Appleton, Wisconsin, es especialista en soldadura por arco y equipos de corte diseñada para la fabricación, en construcción, aviación, deportes de motor, la agricultura y aplicaciones marinas (MILLER, 2015). A continuación se muestra un robot marca KUKA con equipo de soldadura Miller:



Ilustración 3.64 Robot KUKA con equipo de soldadura Miller (KUKA, 2015)

Esta empresa también se dedica a vender robots Panasonic con su equipo de soldadura incorporado en una alianza de marcas, por eso, al vender robots con equipo ya montado no da mucha información en cuanto a catálogos de pistolas o similares. En cualquier caso se va a pasar a explicar su equipo y sus diferentes robots de soldadura:

Esta marca posee dos clases de robots para soldadura, todos ellos marca Panasonic, aunque también vende equipos de soldadura para otras marcas como ya hemos visto anteriormente. Venden los robots de la serie TA y TB, siendo TA pistolas MIG/MAG con manguera por fuera y TB manguera por dentro también pistolas MIG/MAG:

- Serie TA: Son robots con manguera exterior y el número indica la longitud de lo que es el antebrazo del robot:

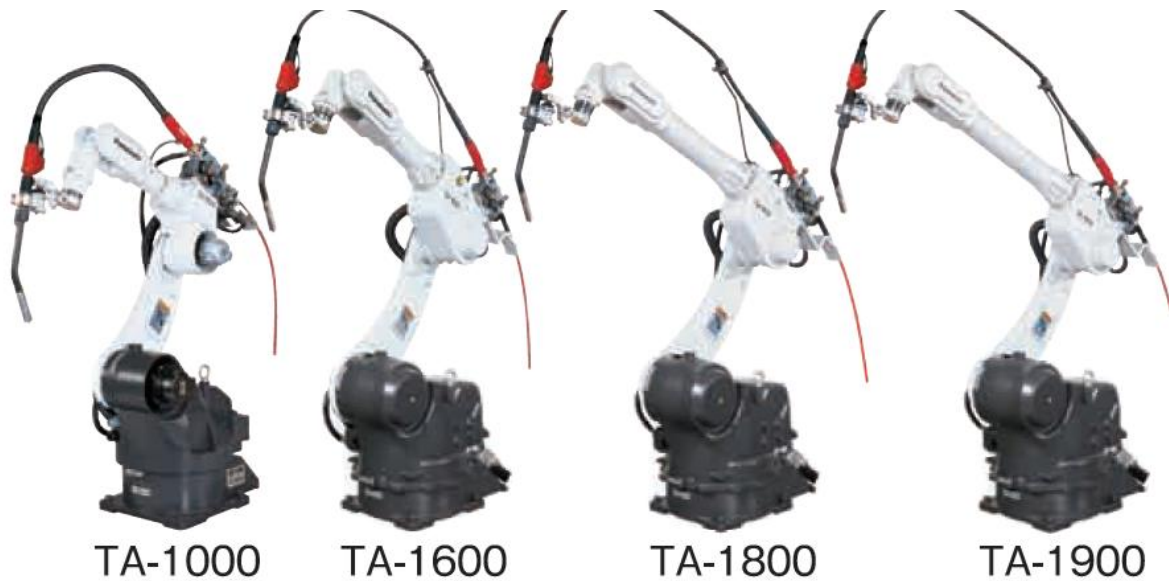


Ilustración 3.65 Robots marca Panasonic con equipo de soldadura Miller serie TA (MILLER, 2015)

- Serie TB: Son robots con manguera interior con diferentes longitudes de antebrazo según requerimiento de aplicación:



Ilustración 3.66 Robots serie TB (MILLER, 2015)

### 3.2.4 Equipos de soldadura marca Selco

Selco es una empresa italiana que fue fundada en 1979 y opera en el sector de la soldadura por arco eléctrico desde hace treinta años. La empresa ha ido perfeccionando y ampliando constantemente la gama de sus productos y servicios (Selco, 2015). A continuación se muestra un robot industrial marca MOTOMAN con equipo de soldadura Selco:



Ilustración 3.67 Robot MOTOMAN con equipo de soldadura Selco (Selco, 2015)

Esta marca posee equipos de soldadura MIG/MAG y TIG. Para ello esta marca muestra las diferentes configuraciones posibles para la instalación de sus equipos:

- Configuración MIG/MAG para robots estándar: Esta configuración es para robots con manguera exterior, viene con todo el equipo de avance de hilo, alimentación y diferentes tipos de antorcha según su sistema de refrigeración de las mismas:

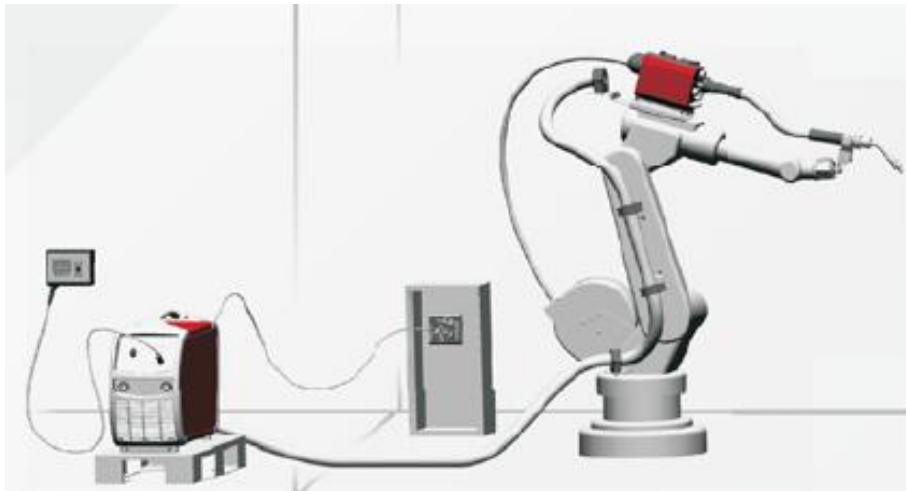


Ilustración 3.68 Configuración Selco para robots estándar (Selco, 2015)

- Configuración MIG/MAG para robots estándar de sistema maestro esclavo: Este sistema posee dos sistemas de avance de hilo, como se ve en la ilustración siguiente, el depósito de hilo lo lleva externamente y no está integrado en el robot, además el sistema de refrigeración de antorcha es de agua.

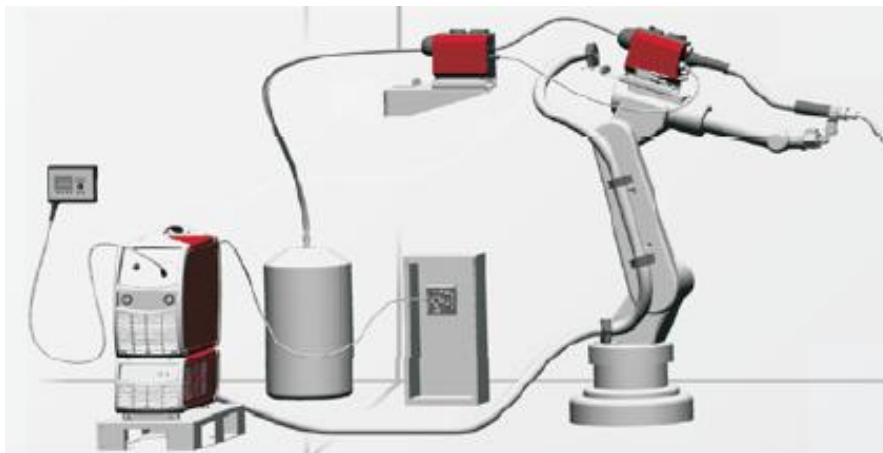


Ilustración 3.69 Configuración MIG/MAG maestro esclavo (Selco, 2015)

- Configuración TIG: Esta configuración, tal y como se ve en la siguiente ilustración no requiere tantos componentes simplificando el esquema de montaje:

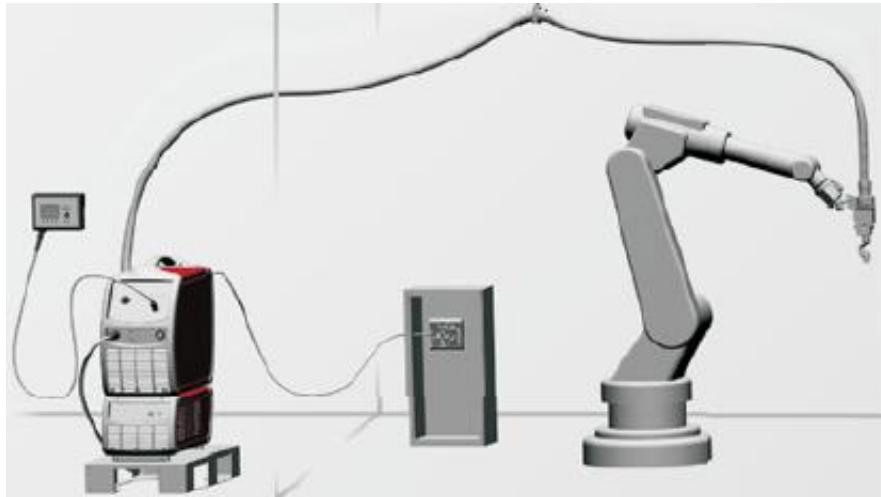


Ilustración 3.70 Configuración TIG (Selco, 2015)

### 3.2.4.1 Antorchas marca Selco

Esta marca posee varias antorchas divididas en refrigeración por agua o por aire, también se divide según su tipo de recambio de piezas, están los sistemas estándar y los sistemas de cambio rápido de repuestos, a continuación se muestra diferentes diseños de antorchas:

- Refrigeradas por agua:



Ilustración 3.71 Antorcha refrigerada por agua con cambio de repuestos estándar (Selco, 2015)





Ilustración 3.72 Antorcha refrigerada por agua con sistema de recambio de piezas rápido, push-pull (Selco, 2015)

- Refrigeradas por aire:



Ilustración 3.73 Antorcha de refrigeración por aire con cambio de repuestos estándar (Selco, 2015)



Ilustración 3.74 Antorcha de refrigeración por aire con cambio de repuestos rápido (Selco, 2015)



### 3.2.5 Componentes de pistola

Hasta ahora se ha analizado las diferentes técnicas de soldadura para robots industriales así como sus equipos. En los siguientes puntos se van profundizar más en los diferentes elementos que componen las pistolas más comunes utilizadas en la industria, que como se ha podido observar en los puntos anteriores, estas son las pistolas MIG/MAG y TIG.

#### 3.2.5.1 Componentes de pistola MIG/MAG

A continuación se muestra un dibujo explicativo de los elementos que integran una pistola de soldadura MIG/MAG común. Este diseño es de manguera exterior.

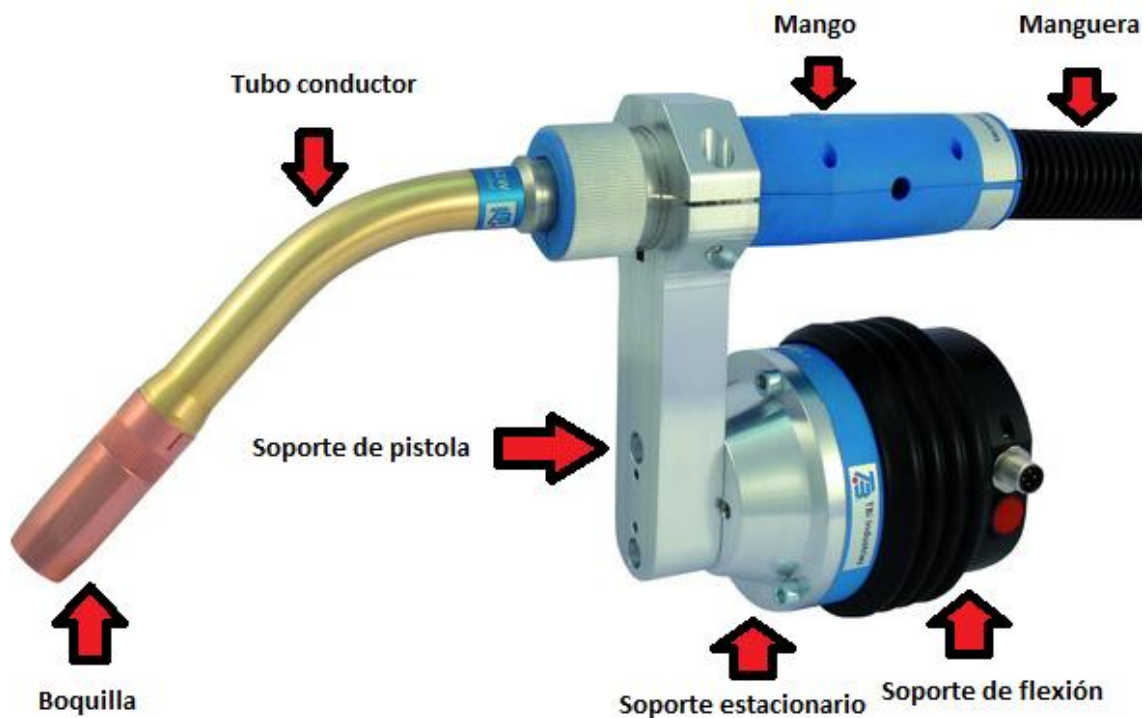


Ilustración 3.75 Componentes pistola MIG/MAG (Martin, 2015)

- Difusores: Es un elemento que se coloca antes de la boquilla y su función es controlar la liberación de gas a extenderse hacia fuera en un patrón difuso. El difusor separa uniformemente el gas sobre la pieza, aumentando la seguridad y la eficacia de

soldadura. Por lo general, soporta el calor y la corrosión. Las empresas que los fabrican normalmente ofrecen una amplia gama de modelos para diferentes propósitos, incluyendo equipos con recubrimientos anticorrosivos y cualidades para hacerlo más útil en ambientes hostiles (Conocimiento, 2015).



Ilustración 3.76 Difusores (Tweco robotics, 2006)

- Tubo conductor: El tubo conductor permite que el agua fluya a través del cuerpo de la antorcha en el tubo conductor. El agua enfriada fluye hacia la parte delantera del tubo conductor donde circula alrededor de la zona de la boquilla. La camisa exterior contiene el alojamiento de la boquilla con un aislante para disipar de manera eficiente el calor. Un manguito de teflón aísla la camisa exterior del conjunto del tubo interno de circulación. El tubo interior está construido de un tubo extruido latón y cobre estilo dúplex. El tubo conductor se introduce en el cuerpo de la antorcha por el uso de un tornillo de bloqueo de acero inoxidable (Tweco robotics, 2006).



Ilustración 3.77 Tubo conductor (Tweco robotics, 2006)

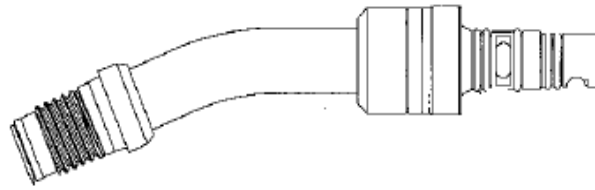


Ilustración 3.78 Dibujo de un tubo conductor (Tweco robotics, 2006)

- Boquillas: Es el elemento que porta la punta del electrodo consumible y asegura la disipación eficiente del calor. Las boquillas albergan un escudo salpicaduras de fibra de vidrio y son también niqueladas para ofrecer más prevención de salpicaduras puente entre el difusor de la boquilla y el gas. Se ofrecen de muchas formas y materiales:



Ilustración 3.79 Ejemplo de boquilla de gas (Tweco robotics, 2006)



Ilustración 3.80 Boquilla de aleación cobre-plata (Tweco robotics, 2006)

- Soporte de flexión: Es un dispositivo de seguridad diseñado para actuar como un interruptor entre el tubo conductor y el robot. Cuando hay una colisión entre el tubo conductor y el accesorio, el tubo conductor se moverá en la dirección con la deflexión del eje de montaje. Cuando esto sucede, se activa un interruptor situado en el interior del conjunto de montaje que detiene el

recorrido del brazo del robot. El montaje de desviación detecta el movimiento en cualquier dirección, ya sea en el eje Z, una carga lateral, o una carga torsional (Tweco robotics, 2006).



Ilustración 3.81 Soporte de flexión (Tweco robotics, 2006)

- Soporte estacionario: Este soporte sustituye al soporte de deflexión cuando el robot no requiere de seguridad en la colisión, ya sea porque ya llevan incorporados otros, o bien porque no es necesaria su instalación.



Ilustración 3.82 Soporte estacionario (Tweco robotics, 2006)

Este elemento se monta a la muñeca del robot de la siguiente manera:

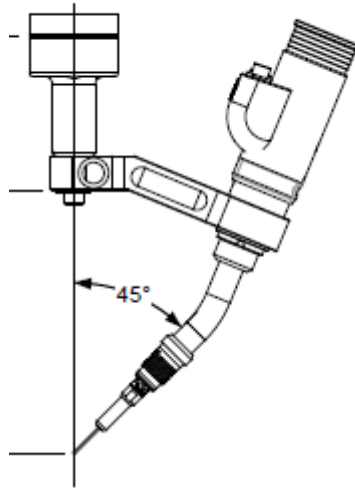


Ilustración 3.83 Montaje del soporte fijo (Tweco robotics, 2006)

- Soporte de pistolas: Es el elemento encargado de sujetar la pistola de soldadura al soporte estacionario, los hay de diferentes tamaños y son fabricados con aleaciones de aluminio.



Ilustración 3.84 Soportes de pistolas de soldadura (Tweco robotics, 2006)

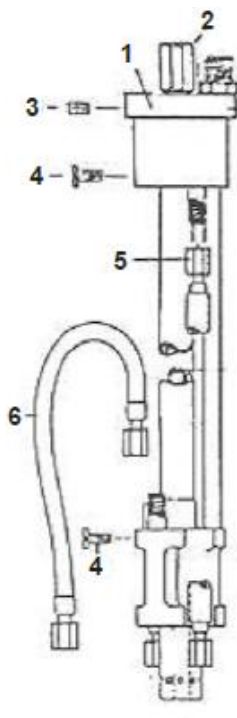
### 3.2.5.2 Componentes de pistola TIG

Hay muchas variantes en el diseño de una pistola TIG para robots industrial, en este apartado se va a mostrar un modelo bastante sencillo, pero que da una idea principal de estructura de pistola TIG refrigerada por agua.



Ilustración 3.85 Pistola TIG (DF Machine specialities, 2014)

A continuación se muestra un dibujo del cuerpo de la pistola con sus principales componentes:



Siendo:

1. Cuerpo interior
2. Adaptador
3. Tornillo prisionero
4. Tornillo de cabeza plana
5. Interconexión de la manguera
6. Conjunto de la manguera
7. Tuerca
8. Adaptador

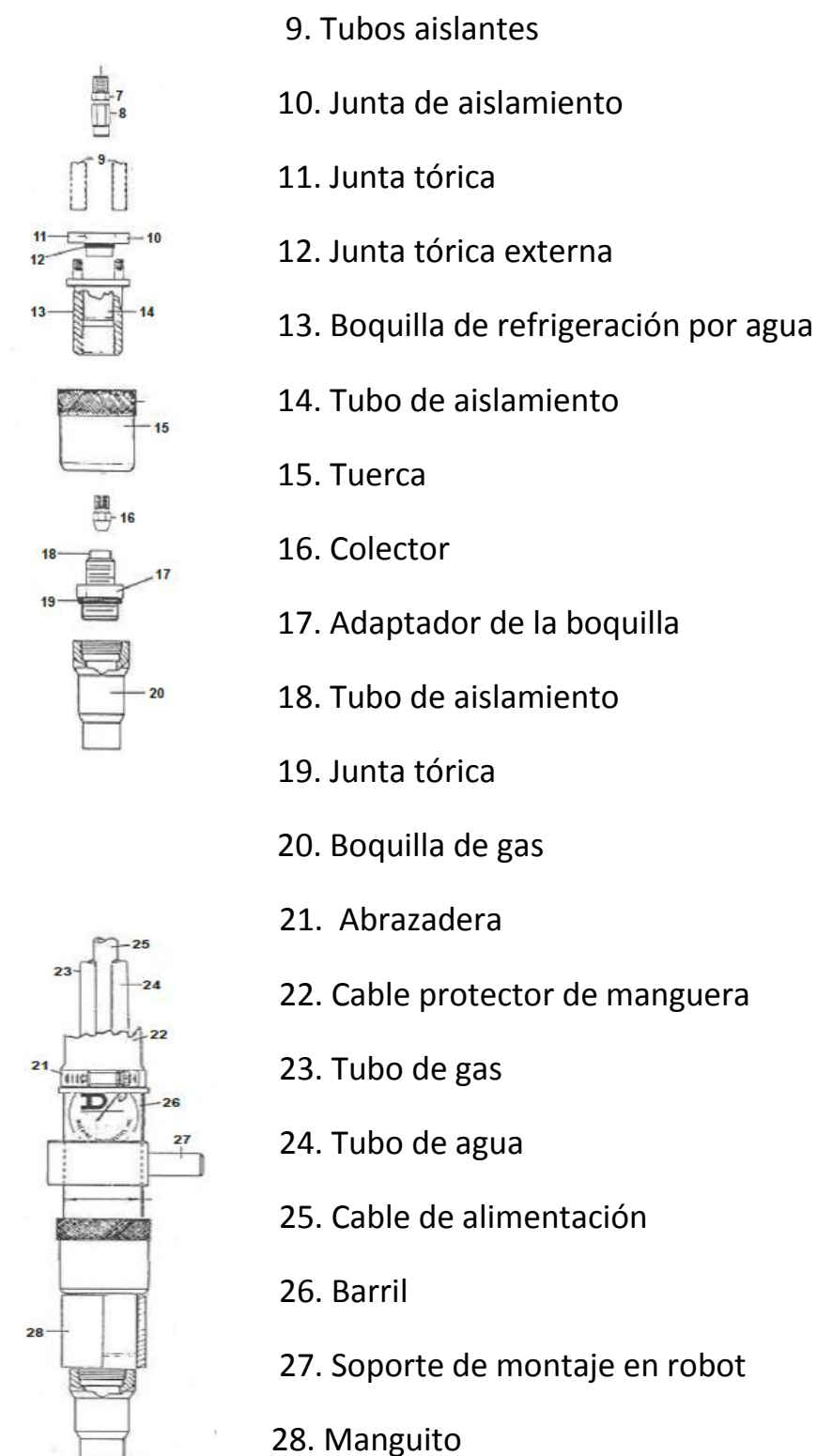


Ilustración 3.86 Estructura de una pistola TIG (DF Machine specialities, 2014)





### 3.3 Pinzas de soldadura por puntos

En este punto se va a analizar las diferentes alternativas existentes en el mercado sobre pinzas de soldadura por puntos o también llamado soldadura por resistencia eléctrica. Para ello se va a exponer antes en qué consiste esta técnica de soldadura, ya que puede ser menos conocida que otras técnicas de soldadura.

#### 3.3.1 Principio de funcionamiento

La soldadura por resistencia implica la generación de calor pasando corriente a través de la resistencia causada por el contacto entre dos o más superficies de metal. En este tipo de soldadura se forman pequeños charcos de metal fundido en el área de soldadura a medida que la corriente pasa a través del metal. Es un método de soldadura eficiente y que causa una mínima contaminación pero sus aplicaciones son algo limitadas, con esta técnica solo se puede soldar chapas de hasta 3mm de grosor, y el costo del equipo puede ser alto. Constan de dos electrodos que ofrecen una doble función, sujetar las hojas de metal y pasar corriente a través de ellas para realizar la soldadura. El principio teórico en el que se basa es el efecto Joule, es decir, calor que se genera al pasar una corriente por un sistema (Briones, 2013). A continuación se muestra un dibujo esquemático del proceso de soldadura por resistencia:

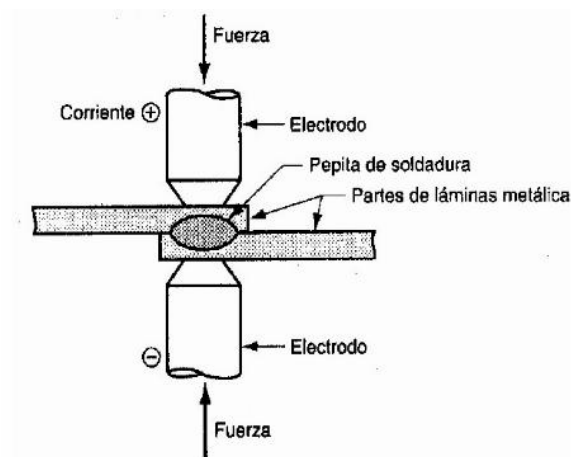


Ilustración 3.87 Proceso de soldadura por resistencia (Briones, 2013)

La soldadura se realiza en cuatro fases diferenciadas:

- Fase de posicionamiento: Se ejerce presión sobre los electrodos uniéndolos los materiales a soldar.
- Fase de soldeo: Pasa la corriente creando diferencia de potencial en los electrodos
- Fase de mantenimiento: Se incrementa la presión ejercida después de cortarse la corriente eléctrica
- Fase de decadencia: Se reduce la presión hasta retirar la pieza una vez ya soldada (Briones, 2013).

### **3.3.2 Características de la soldadura por puntos**

Este tipo de soldadura automatizada está muy ligada al sector del automóvil debido a la flexibilidad y rapidez que confiere en el proceso de soldadura de chapas, sin embargo, poco a poco se está introduciendo en otros sectores como puede ser el mobiliario metálico (Briones, 2013). Dicho esto, se van a nombrar algunas ventajas y desventajas de este tipo de soldadura respecto a otros métodos:

Ventajas:

- No necesita preparación previa de material e ignora algunos aspectos como la suciedad que para otros tipos de soldadura serían un impedimento (Briones, 2013).
- Altas velocidades de producción.
- No requiere material de aportación.

Desventajas:

- Se puede producir puntos quemados por mala colocación de los electrodos.
- Elevado control de la presión ejercida en los electrodos.
- Si la refrigeración no es buena, provoca un desgaste prematuro de los electrodos (Briones, 2013).
- Elevado costo del sistema.

### 3.3.3 Tipos de pinzas de soldadura por puntos

Para analizar las diferentes pinzas de soldadura por resistencia eléctrica se va a mostrar una primera clasificación de las pinzas según su forma de accionamiento:

- Eléctricas servo-controladas: Su mecanismo de cierre de las pinzas es gobernado por un servo, esto permite al robot realizar una fuerza de agarre de las puntas de los electrodos a las chapas totalmente controlado. Es un sistema más moderno que las neumáticas y permite controlar mejor la calidad de la soldadura. A continuación se muestra un robot con servo-controlador para pinzas de soldadura por puntos:

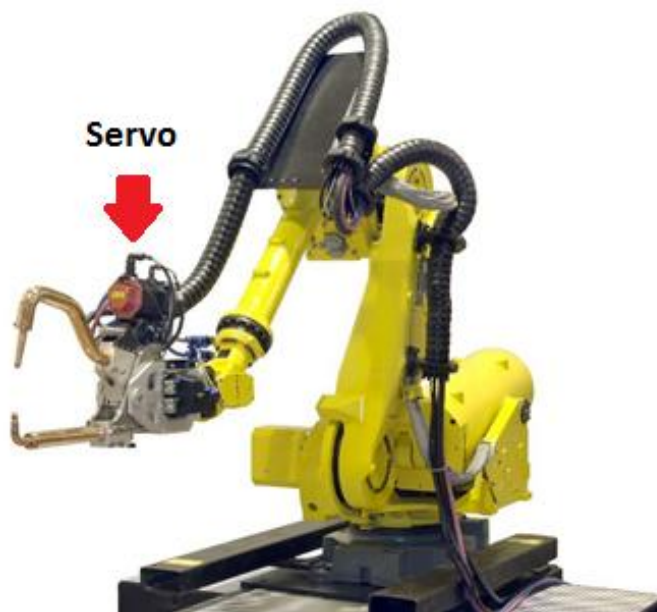


Ilustración 3.88 Robot con servo-controlador (Alibaba, 2015)

- Electro-neumáticas: El mecanismo de cierre de las pinzas está gobernado eléctricamente por un actuador neumático. Es un sistema en la industria robótica que requiere una instalación neumática y un compresor muy eficiente, ya que, las fluctuaciones en la alimentación de aire comprimido en la pinza puede perjudicar a la soldadura. (Rosengren, Cass, & Dietrich, 2012). A continuación se muestra un robot con mecanismo de cierre de pinza con actuador neumático:

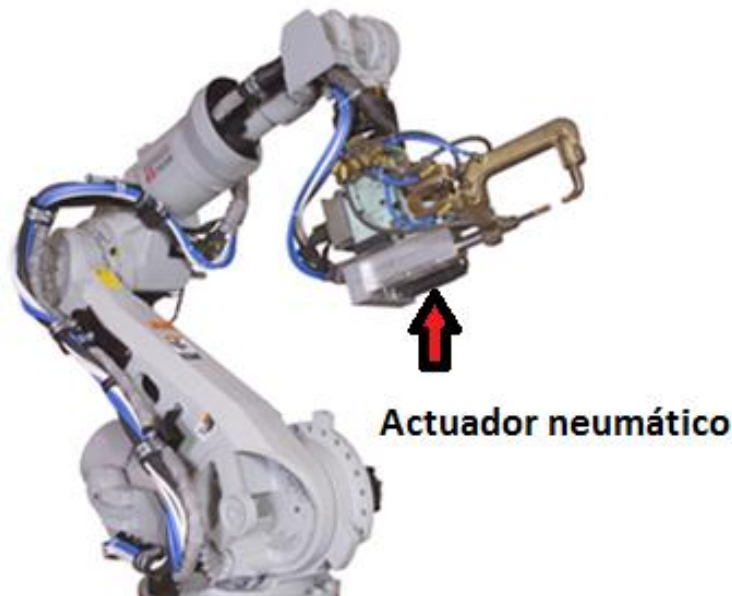


Ilustración 3.89 Robot con pinza electro-neumática (YASKAWA, 2015)

El decidir colocar un sistema de alimentación del cierre de los electrodos u otro conlleva una serie de ventajas y desventajas, a continuación se dan a conocer algunas de ellas:

Ventajas del servo-controlador:

- Soldaduras de mayor calidad.
- Menor mantenimiento del equipo.
- Aumento de vida de los electrodos.

Desventajas del servo-controlador:

- Equipo de instalación caro.
- Requerimiento de personal más cualificado

Ventajas del electro-neumático:

- Equipo más barato.
- De mayor facilidad de construcción e instalación.
- Actualmente más instaurado en el mercado.
- Ciclo de trabajo más rápido.

### Desventajas del electro-neumático:

- Mayores defectos de soldadura en el tiempo por ciclo.
- Mayor mantenimiento del equipo.
- Necesidad de una instalación de aire comprimido muy eficiente para no provocar defectos de soldadura.

Una vez conocido los sistemas de alimentación en cuanto a cierres de electrodos, se va a hacer una segunda clasificación de las pinzas de soldadura según su forma de construcción. Los modelos más comunes en el mercado son la pinza en C y en X, que señalan el estilo de cierre de los brazos de los electrodos.

- Pinza en C: Estas pinzas pueden ser de mecanismo de cierre electro-neumático o servo-controlado, el sistema de accionamiento está conectado directamente con el electrodo en movimiento (ROBOT WELDING, 2001). A continuación se muestra los diferentes sistemas de cierre de pinza tipo C:

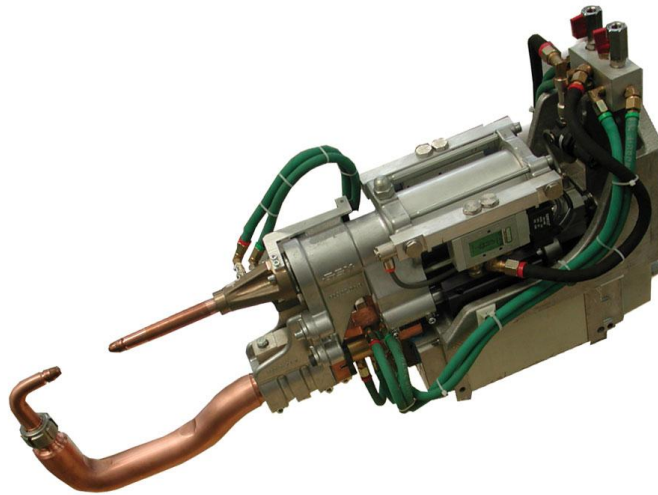


Ilustración 3.90 Pinza en C con sistema de accionamiento electro-neumático (GEM, 2015)

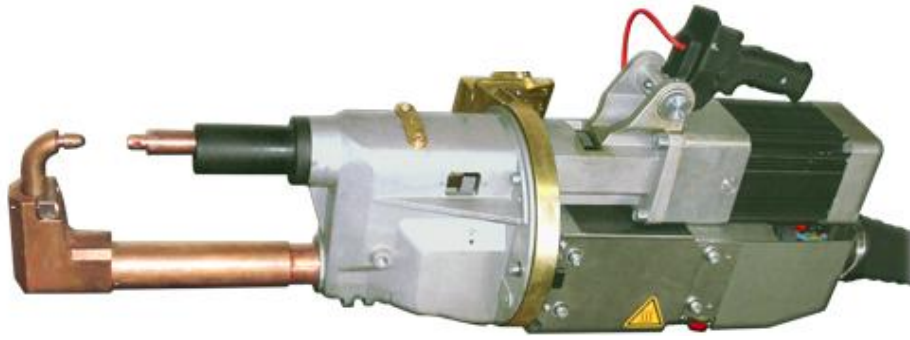


Ilustración 3.91 Pinza en C con sistema de accionamiento servo-controlado (LORS machinery, 2012)

- Pinza tipo X: Estas pinzas tienen la posibilidad de estar gobernadas por el mecanismo de cierre electro-neumático o servo-controlado (PW, 2015), en los dos casos, el sistema de accionamiento está alejado del electrodo móvil, la fuerza que se aplica a la placa a soldar se realiza por medio de un brazo de palanca (ROBOT WELDING, 2001). A continuación se muestra un ejemplo para cada sistema de accionamiento de pinza en X:

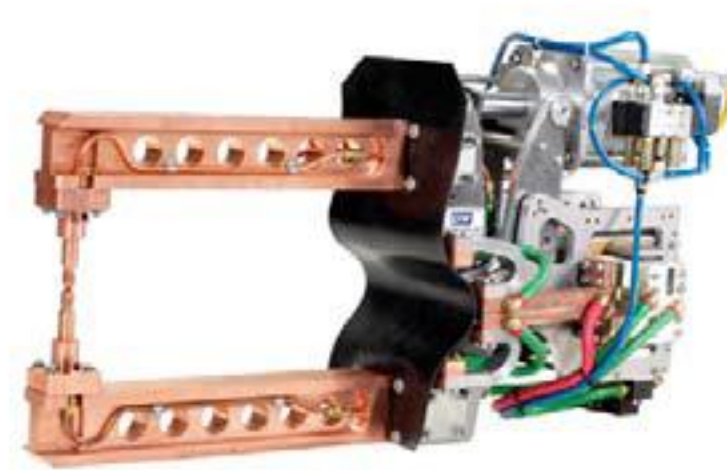


Ilustración 3.92 Pinza en X con sistema de accionamiento electro-neumático (PW, 2015)



Ilustración 3.93 Pinza en X con sistema de accionamiento servo-controlado (PW, 2015)

### 3.3.4 Componentes generales de las pinzas de soldadura por puntos

Hay muchas variaciones comerciales disponibles en cada tipo de pinza con respecto a la forma de los electrodos, estilo del bastidor, longitudes de brazos de los electrodos, forma de los brazos y amperajes máximos admisibles, lo que da un espectro bastante amplio a la hora de diseñar una pinza de soldadura por resistencia. A continuación se muestra un ejemplo de componentes que suelen llevar las pinzas en X de soldadura por puntos:

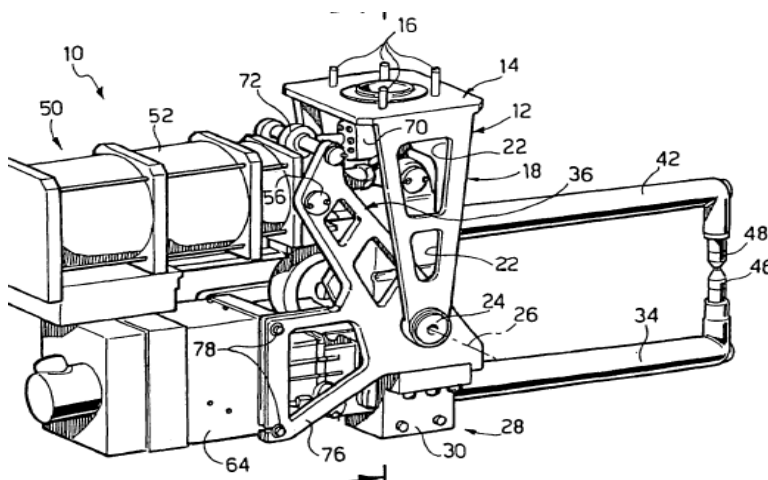


Ilustración 3.94 Componentes pinza de soldadura por puntos (Porta, 2008)



Siendo:

12. Soporte	14. Placa principal
16- Medios de fijación	18. Eje de articulación
24. Pasador	26. Eje de articulación
28. Media pistola inferior	30. Bloque
34. Brazo de soldadura inferior	36. Horquillas de accionamiento
42. Brazo de soldadura superior	46. Electrodo inferior
48. Electrodo superior	50. Cilindro de accionamiento
52. Cuerpo cilindro	64. Transformador eléctrico
70. Cilindro de equilibrado	76. Soporte transformador
78. Tornillos de unión	

Una vez visto los componentes generales de las pinzas de soldadura por puntos, se va a profundizar más en los elementos principales comerciales disponibles para diseñar una pinza de soldadura por resistencia.

- Electrodos: Son los elementos que están en contacto con el metal y su misión es hacer una correcta y eficiente soldadura, los hay de diferentes geometrías de los capuchones y además se dividen en electrodos machos y hembras, tal y como se ve en las siguientes ilustraciones:





Ilustración 3.95 Electrodos de soldadura por resistencia hembras (WSA, 2015)



Ilustración 3.96 Electrodos de soldadura por resistencia machos (Etal Brazing, 2015)

El material utilizado en la fabricación de los electrodos suele ser aleaciones de cobre con Cd, Cr, Be, W con objeto de que presente una baja resistencia y una elevada oposición a la deformación bajo una presión, estando su dureza comprendida entre 130 y 160 HB. Los electrodos utilizados en soldadura por puntos pueden variar dependiendo de la aplicación que se vaya a realizar, cada tipo de electrodo tiene una función diferente (Wikipedia, 2015).

- Electrodos de radio se utilizan para aplicaciones de alta temperatura.
- Electrodos con una punta truncada se utilizan para altas presiones.
- Electrodos excéntricos se utilizan para soldar esquinas, o para llegar a rincones y espacios pequeños.
- También hay electrodos para poder acceder al interior de la pieza a soldar (Wikipedia, 2015)

- Varilla porta-electrodos: Son los elementos encargados de sujetar los electrodos, así como transportar en su interior el refrigerante. Los hay de muchas variantes en cuanto a inclinaciones y tamaños tal como se muestra en la siguiente ilustración:



Ilustración 3.97 Ejemplo de varillas porta-electrodos (Milco, 2015)

Estas se clasifican según su acoplamiento con el electrodo en varillas macho o varillas hembra:

- Varillas para electrodo macho: Están disponibles en una amplia gama de tamaños, aleaciones y estilos. Estas varillas tienen la ventaja respecto a las hembras de que enfrían el electrodo con más eficacia que las varillas hembra (LORS machinery, 2012)



Ilustración 3.98 Ejemplo de varilla para electrodo macho (LORS machinery, 2012)

- Varillas para electrodo hembra: Estas varillas tienen la ventaja respecto a los machos de que se pueden cambiar sin necesidad de apagar el agua refrigerante, y son menos propensos a tener fugas (LORS machinery, 2012).



Ilustración 3.99 Ejemplo de varilla para electrodo hembra (LORS machinery, 2012)

También existen unas varillas especiales que permiten cierto giro a los electrodos:



Ilustración 3.100 Varillas especiales (LORS machinery, 2012)

- Brazos: Son los componentes que se encargan de el transporte de la electricidad hasta los electrodos además de sujetar las varillas. Estos se fabrican rectos o curvados, redondos o rectangulares (Milco, 2015)



Ilustración 3.101 Ejemplos de brazos (Milco, 2015)

- Actuador neumático: En el caso de las pinzas controladas neumáticamente es el elemento que cierra el circuito eléctrico, ya que hace la función de mordaza, el tamaño del vástago de este, dependerá de la fuerza que se le exija aplicar:



Ilustración 3.102 Ejemplo de actuadores neumáticos (Milco, 2015)

- Servo-motor: En el caso de las pinzas controladas con servo-motor, es el elemento que se encarga de realizar y controlar el apriete de los electrodos en las placas a soldar:

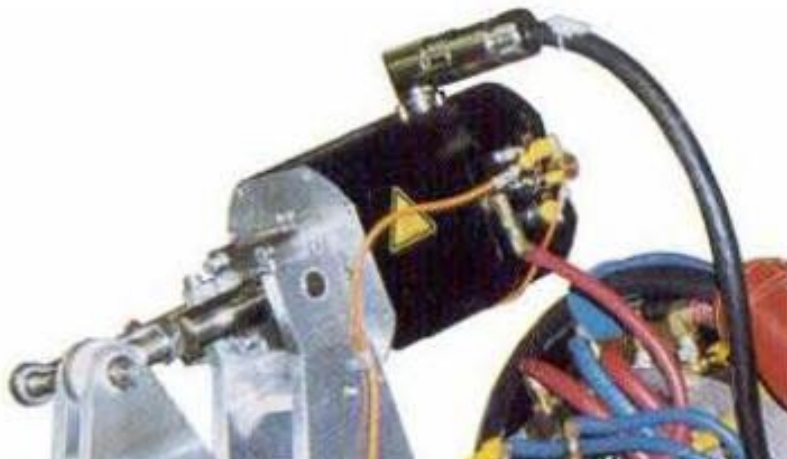


Ilustración 3.103 Servo-motor (Bearcat, 2015)

- Soportes: Son las estructuras encargadas de sujetar las pinzas, actuadores, cableado, y también de acoplar todo el sistema con la brida del robot. Suelen ser de metales ligeros ya que lo que interesa es que el conjunto pese poco.

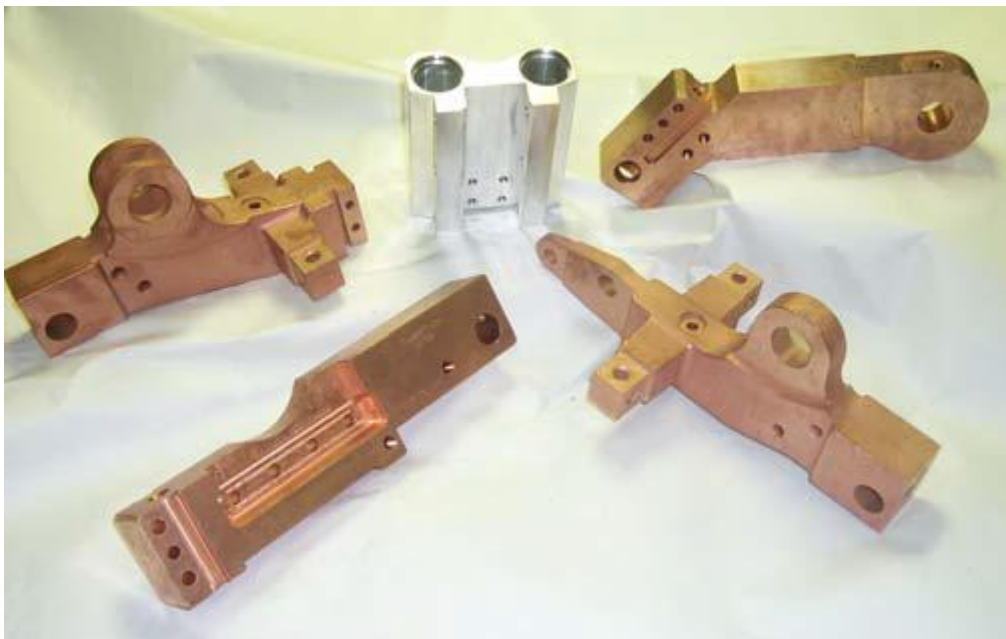


Ilustración 3.104 Ejemplo de soportes de pinzas de soldadura por resistencia (Milco, 2015)

### **3.3.5 Análisis mecánico de las pinzas de soldadura por puntos**

Para hacer un mejor diseño posterior de la pinza de soldadura por puntos, en este punto se va a analizar los eslabones mecánicos principales de transmisión de movimiento que hacen posible los cierres de los brazos de las pinzas. Para ello, se va a seleccionar varios modelos patentados de cada sistema de cierre para tener una referencia de diseño para pinza en X y para pinza en C.

#### **3.3.5.1 Análisis mecánico de las pinzas en X**

- Patente1, Pinza en X: Este modelo de pinza se define como pinza de brazos pivotantes, esto es así porque posee un bastidor (1) que está montado de manera pivotante un primer miembro (2) portador de los brazos porta-electrodos (3) y (5), formando la pinza.

Los miembros (2, 4) están vinculados respectivamente a un vástago (6a) y a una carcasa (6b) de un primer cilindro (6) dotado de una primera carrera de aproximación/separación de los brazos y de una segunda carrera de cierre-soldadura/apertura, existiendo un segundo cilindro (7) de compensación que vincula dicho segundo miembro (4) al citado bastidor (1) para separar el brazo porta-electrodos inferior (5) de la pieza a soldar después de la soldadura.

Dispone de cada uno de los primer y segundo miembros (2, 4) de dos paredes paralelas encaradas (2a, 2b y 4a, 4b) que presentan una pluralidad de agujeros (8) constitutivos de diferentes puntos de anclaje, seleccionables, para unas respectivas abrazaderas superior e inferior (9, 10) de sujeción de los correspondientes brazos porta-electrodos.



Posee un orificio (11) para un pasador (12) de articulación respecto al bastidor (1) y está unido solidariamente, por una zona exterior próxima a dicho extremo, con un miembro de palanca (4c, 4d) que se prolongan hacia la parte delantera de la carcasa (6b) del primer cilindro (6) a la que se vincula por medio de un orificio (13) para un miembro de unión (14).

Las dos paredes paralelas encaradas (2a, 2b) del primer miembro (2) están situadas entre dichos miembros de palanca (4c, 4d) y fijadas, por sus extremos del brazo porta-electrodos (3), a un bloque (15) con un orificio (16) para dicho pasador (12) de articulación respecto al bastidor (1), disponiendo en el extremo opuesto de unos orificios (17) para un pasador (18) de vinculación al extremo libre del citado vástago (6a) del cilindro (6), de manera que las dos paredes paralelas encaradas (2a, 2b) del primer miembro (2) y las dos paredes paralelas encaradas (4a, 4b) del segundo miembro (4) quedan separadas por distancias idénticas (CARRE CAMPS, 2000).

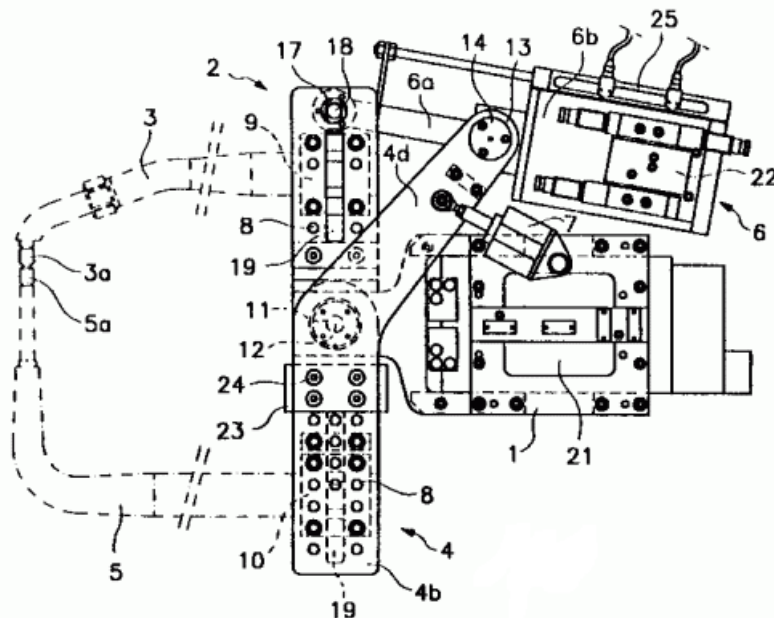


Ilustración 3.105 Diseño de pinza de brazos pivotantes (CARRE CAMPS, 2000)



El modelo explicado anteriormente es una patente que actualmente comercializa la empresa SERRA SOLDADURA S.A de Barcelona, la cual se muestra a continuación:



Ilustración 3.106 Pinza de brazos pivotantes (Tecsolda, 2015)

- Patente 2, pinza en X: Este modelo consta de un porta-electrodos 1 para soldar las chapas 18 y 19. La pinza porta-electrodos se compone de dos varillas porta-electrodos 20 y 21, que están sujetas respectivamente a los brazos 20' o 21'. Estos están unidos entre sí de forma articulada por medio de un punto articulado 22 y brazos articulados 23 y 24.

Los dos brazos articulados 23 y 24 se sujetan respectivamente entre los dos extremos de los brazos 20' ó 21'. En un extremo actúa entre los brazos 20' y 21' un mecanismo de mando 25, representada por un cilindro neumático, que realiza el cierre con una fuerza predeterminada (SCHLATTL & PLOCHINGER, 1996).

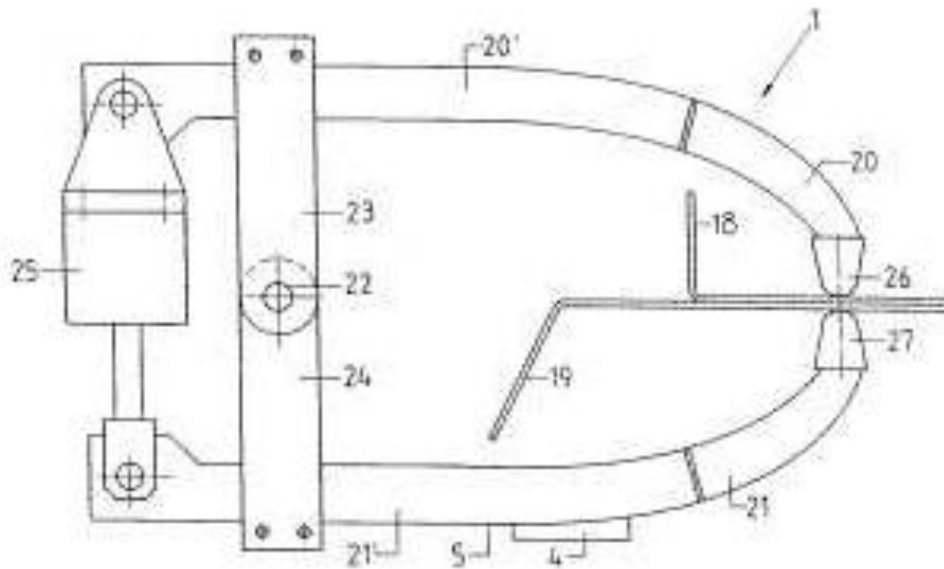


Ilustración 3.107 Patente de pinza (SCHLATTI & PLOCHINGER, 1996)

- Patente 3, pinza en X: Se trata de un sistema en el que posiciona la pinza abierta en relación con la pieza de trabajo (8) mediante el actuador (3), manteniendo la posición de la pinza mediante un actuador de compensación (7) gobernado por unos medios de control según un modo de control de posición.

El cierre de los brazos (1) y (2) se realiza mediante la articulación (9) que posee un pasador (11) y está gobernado por el actuador (3) (Magre, Teixido Casas, Sudria, Bergas Jane, & Gabriel, 2005).

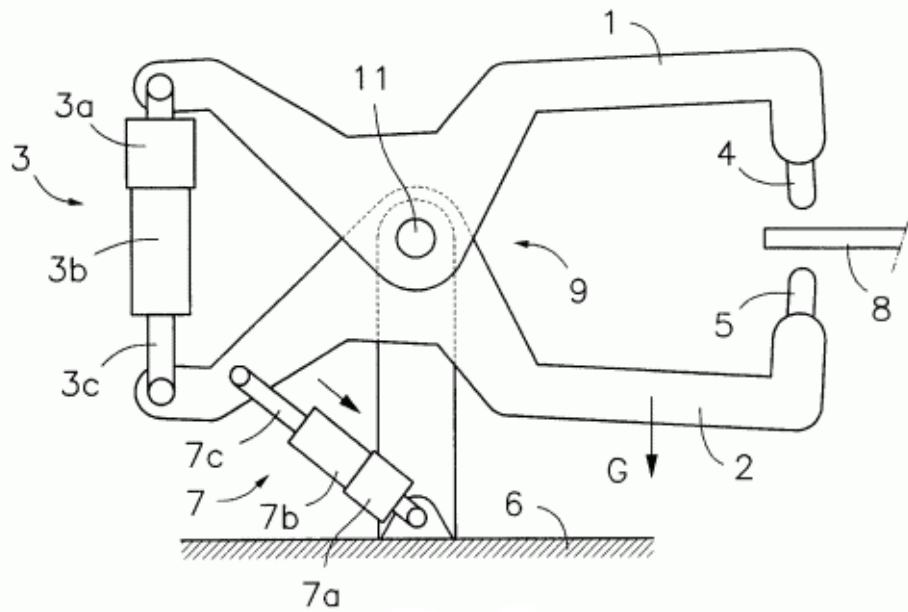


Ilustración 3.108 Patente de pinza de control de posición (Magre, Teixido Casas, Sudria, Bergas Jane, & Gabriel, 2005)

### 3.3.5.2 Análisis mecánico de las pinzas en C

- Patente 1, pinza en C: Este sistema tipo C de soldadura comprende la muñeca del robot (1), unido a un soporte en forma de L (2) de manera fija a la muñeca del robot y que tiene en el elemento (7), un cilindro de presión (3) para aplicarla fuerza a uno de los electrodos.

Tiene una pared de contención (9) que sobresale de un extremo trasero del mismo y una varilla (13), la cual porta el electrodo que realiza el cierre.

Tiene un cilindro de fijación (5) posicionado entre el soporte (2) y el cilindro (3), con un vástago (6) de dirección a una superficie (8) y un tope ajustable (10) situado entre la elemento (7) del soporte (2) y la pared (9).

Cuando se mueve la varilla (6) del cilindro de fijación (5), el espacio entre el cilindro de fijación (5) y la pared (9) se reduce realizando el cierre, ya que se pone en contacto con la superficie (8) del elemento (7) chocando con el tope (10) en la pared (9) y poniéndolo en contacto con la superficie (11) (Umeda, 1992).

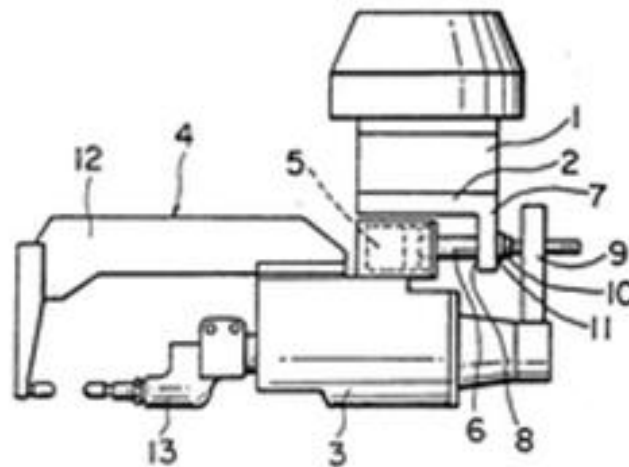


Ilustración 3.109 Patente 1 de pinza tipo C (Umeda, 1992)

- Patente 2, pinza en C: Esta patente de pinza es un modelo de funcionamiento servo-controlado (1) fijado y sostenido por una carcasa (2). Un engranaje (4) está unido a un eje de salida (3) del servomotor (1) y un husillo (6) está fijado a un engranaje (5) que engrana con el engranaje (4).

El soporte (7) está dispuesto de forma deslizable en un cilindro (9), situado dentro de la carcasa (2). El soporte (7) tiene un cuerpo cilíndrico en la parte media de la misma en la que se inserta el husillo (6) y un resorte (10) que se sostiene por un extremo frontal del mismo. El brazo móvil (12) se inserta de manera deslizante dentro de la porción cilíndrica que tiene un electrodo (11) en el extremo de la punta.

El brazo móvil (12) y el soporte (7) están respectivamente colocados a través de una varilla de detención de rotación (13) que está soportado por el cilindro (9) para que no se pueda girar.

Posee un segundo servomotor (16) fijado y sostenido por el soporte (14). Un husillo (18) está conectado a un eje de salida (17) del servomotor (16) y el husillo (18) está soportado giratoriamente entre y por los soportes (14) y (15).

Una tuerca (19), engrana al eje roscado (18), todo esto está fijado a la muñeca (20) del robot. El elemento (23) es una placa de controlador para gobernar los servomotores (1) y (16).

Cuando los servomotores (1) y (16) son accionados, la rotación del eje de salida (3) del servomotor (1) se transmite desde el engranaje (4) a la rueda dentada (5) de modo que la rotación hace girar el eje de tornillo (6). Como resultado, el elemento (7) se mueve hacia adelante por la tuerca (8), moviendo de este modo el brazo móvil (12) hacia delante de manera que el electrodo (11) se aproxima a la pieza de trabajo (24).

Al mismo tiempo, la rotación del eje de salida (17) del servomotor (16) hace girar el eje del tornillo (18). Como resultado, el brazo (22) fijado a la carcasa (2) se mueve hacia atrás de manera que el electrodo (21) del brazo (22) se aproxima a la pieza de trabajo (24) (Kono, Kojima, Sugawara, & Kawai, 1996).

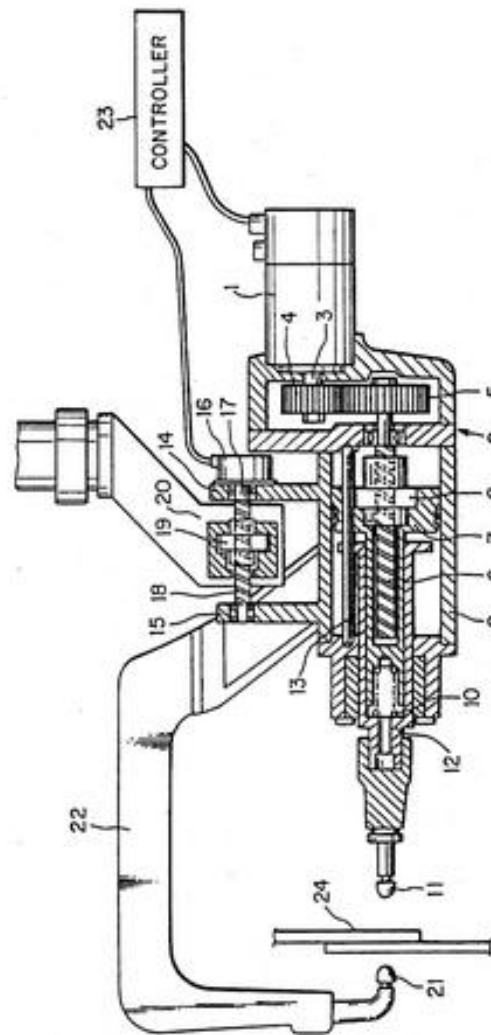


Ilustración 3.110 Patente de pinza tipo C servo-controlada (Kono, Kojima, Sugawara, & Kawai, 1996)

### 3.4 Elementos de unión

En este punto se va a analizar las diferentes posibilidades existentes para unir la herramienta a diseñar con la brida del robot. Existen las uniones fijas y las uniones desmontables, para este proyecto necesariamente la unión debe ser desmontable, ya que se necesita cambiar y descambiar las diferentes herramientas a diseñar, por lo tanto sólo se van a analizar las desmontables para más tarde elegir una unión que se adapte a los objetivos del proyecto, es decir, que sea de acople y desacople rápido además de que sea una unión eficaz.

#### 3.4.1 Tornillos

Como se sabe, los tornillos son un tipo de unión desmontable cuya función principal es la sujeción de una o más piezas. En un tornillo se puede distinguir dos partes (Águila, 2015):

- Cabeza. Es el elemento de agarre para su colocación.
- Cuerpo, espiga o vástago. Es la zona donde está tallada la rosca.

Para la designación de los tornillos se comienza definiendo el tipo de tornillo (T ó M si es tornillo ordinario, TC ó M si se trata de un tornillo calibrado y TR si el tornillo a designar es de alta resistencia), seguido por el diámetro del vástago en la zona de rosca, la longitud total del vástago, y por último una cifra para indicar la calidad del acero.

Por ejemplo: TR 20x90-8.8, se trata de un tornillo de alta resistencia, de 20 mm de diámetro exterior de la rosca, 90 mm de longitud de vástago y calidad de acero 8.8 (640 N/mm<sup>2</sup> de límite elástico y 800 N/mm<sup>2</sup> de resistencia última) (Ingemecánica, 2015).

Según la herramienta que utilicemos para el montaje de un tornillo la cabeza puede ser: Hexagonal, cuadrada, cilíndrica con hueco hexagonal, allen, avellanadas, etc. A continuación se enumeran los distintos tipos de tornillos más usuales en función de su geometría y el uso para los que habitualmente están destinados:

- Tornillos de cabeza hexagonal: Permite aplicar grandes momentos de apriete (Ingemecánica, 2015):



Ilustración 3.111 Tornillo de cabeza hexagonal (Cefesa, 2015)

- Tornillos de cabeza hexagonal con valona: Permite aplicar un gran apriete, sin necesidad de utilizar arandela entre la cabeza del tornillo y la pieza a unir (Ingemecánica, 2015):



Ilustración 3.112 Tornillos de cabeza hexagonal con valona (Comessa, 2014)

- Tornillos de cabeza hexagonal con pivote: Permiten uniones con gran apriete, y además es posible realizar la inmovilización de la unión mediante el empleo de un pasador en el pivote (Ingemecánica, 2015).





Ilustración 3.113 Tornillo de cabeza hexagonal con pivote (Citiservi, 2015)

- Tornillos de con extremo en punta: También llamado tornillo prisionero, debido a que impide el movimiento relativo entre las piezas unidas (Ingemecánica, 2015).



Ilustración 3.114 Tornillo prisionero (Alíexpress, 2015)

- Tornillos de cabeza con ranura cruciforme: Como en el caso anterior, se emplean cuando no es necesario la aplicación de un gran par de apriete, e igualmente que el anterior, también permite la posibilidad de ocultar la cabeza del tornillo si se realiza un avellanado al orificio de entrada (Ingemecánica, 2015).



Ilustración 3.115 Tornillo de cabeza ranurada (Bricolaje, 2015)

- Tornillos de cuello cuadrado: Se usa para el ensamblaje mediante aplique de presión de piezas sobre las que se ha ejecutado un taladro sin rosca previamente. Al apretar la tuerca, el tornillo queda inmovilizado en lo que a rotación se refiere, al quedarse alojado el cuello cuadrado en un alojamiento prismático embutido o que ya viene de fundición. Por otro lado, la cabeza del tornillo se puede ocultar si se le practica un avellanado al agujero (Ingemecánica, 2015).

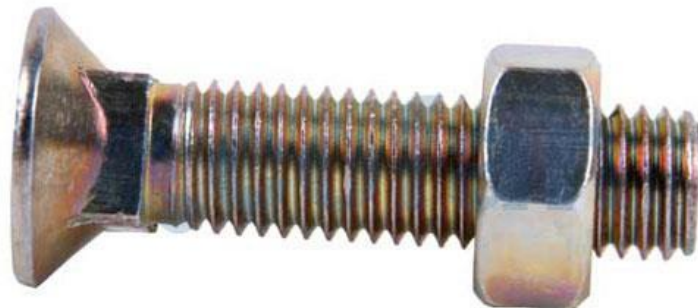


Ilustración 3.116 Tornillo de cuello cuadrado (Cofan, 2014)

- Tornillo de cabeza cuadrada: Se usan para casos donde es necesario aplicar un gran momento de apriete, por ejemplo, para la fijación de herramientas de corte (Ingemecánica, 2015).



Ilustración 3.117 Tornillos de cabeza cuadrada (Torniper, 2013)

- Tornillo de cabeza cilíndrica con hexágono interior (Allen): Se usan en uniones que se necesiten grandes aprietes y que resulten estrechos, con la posibilidad de ocultar la cabeza del tornillo si se le practica un avellanado cilíndrico al agujero (Ingemecánica, 2015).



Ilustración 3.118 Tornillo Allen (AI, 2015)

- Tornillo de cabeza avellanada con hexágono interior (Allen): Se usan en uniones que se necesiten grandes aprietes y que resulten estrechos, facilitando el centrado entre las piezas a unir. Existe la posibilidad de ocultar la cabeza del tornillo si se le practica un avellanado cónico al agujero (Ingemecánica, 2015).



Ilustración 3.119 Tornillo de cabeza avellanada allen (Alacer Mas, 2014)

- Tornillos de cabeza moleteada: Se usan en aquellas uniones que no precisen de un gran apriete, con frecuentes procesos de montajes y desmontajes manuales (Ingemecánica, 2015).



Ilustración 3.120 Tornillo de cabeza moleteada (Untilnorm, 2015)

- Tornillos de mariposa: Se usan en aquellas uniones las cuales no vayan a precisar de un gran par de apriete, y además están sometidos a frecuentes montajes y desmontajes manuales (Ingemecánica, 2015).



Ilustración 3.121 Tornillo de mariposa (Levinov, 2015)

- Tornillos autorroscantes para chapa: También llamados de rosca cortante, y se usan para la unión de chapas metálicas de pequeño espesor o también de piezas hechas de material blando, como el plástico. En este caso, la rosca hembra la realiza el propio tornillo al penetrar en el taladro liso practicado en la chapa (Ingemecánica, 2015):



Ilustración 3.122 Tornillo autorroscante (Garro Home, 2014)

- Tornillo Torx: Es una marca de un tipo de cabeza de tornillo caracterizado por una forma estrellada de 6 puntas. Son usados en el sector de la automoción, en bicicletas, computadoras y otras cosas en las que los fabricantes quieren limitar el acceso a los consumidores.



Ilustración 3.123 Tornillo Torx (Inox BCN, 2013)

- Perno: Un perno es la unión de un tornillo y de una tuerca. Se emplea para ensamblar piezas pasantes sin roscar (Águila, 2015):



Ilustración 3.124 Perno de cabeza hexagonal (Beyond Industry Groups Ltd, 2015)

- Esparrago: El esparrago es una varilla cilíndrica roscada por ambos extremos. Este va introducido en un agujero roscado ciego o no. Se utiliza para aquellos casos en que el elemento hay

que desmontarlo con regularidad o requiere un centrado rápido (Águila, 2015).



Ilustración 3.125 Esparrago (Jergens Inc, 2014)





### 3.4.2 Otros elementos de unión

- Pasadores: Son piezas de forma cilíndrica o cónica que sirven para sujetar elementos de máquinas que van a estar juntos. Los pasadores no están preparados para transmitir grandes esfuerzos.



Ilustración 3.126 Pasador cilíndrico (B&T, 2012)

- Abrazaderas: es una pieza de metal u otro material que sirve para asegurar elementos cilíndricos, normalmente tubos, ya sean en disposición vertical, horizontal o suspendida, en una pared, guía, techo o cualquier otra base.



Ilustración 3.127 Abrazaderas metálicas (Cofan, 2014)



#### **4. Elección de una alternativa para cada herramienta**

En este apartado se va a seleccionar una solución para cada herramienta propuesta por los objetivos de este presente proyecto en concordancia con el análisis de alternativas visto anteriormente. Para ello, se va a profundizar más en los elementos seleccionados que componen cada herramienta y también se va a justificar el motivo de los mismos.

Como se ha podido demostrar en el punto anterior, el mercado actual es muy amplio y variado, para poder hacer una buena elección tanto de diseño como de tipo de herramienta se ha decidido seguir una estrategia general para resolver los problemas que se plantean en el desarrollo del proyecto y los cuales se van a explicar en el siguiente punto.



## 4.1. Estrategia de diseño

La estrategia de diseño de este proyecto se ha estructurado en varias fases para poder hacer un mejor análisis de los problemas que se han ido dándose y las soluciones que se han dado en su desarrollo. Las fases se han dividido en:

- Fase de construcción en Solidworks.
- Fase de la elección de los componentes y compra de material.
- Fase de fabricación del prototipo.

### 4.1.1 Fase de construcción en Solidworks

El primer problema que se tuvo en la realización de este proyecto fue el cómo crear una estructura de diseño dimensionalmente coherente con la geometría del robot. Para solucionar esto, se tomó la decisión de realizar el robot en Solidworks con sus medidas aproximadas tal y como se muestra en las siguientes imágenes:

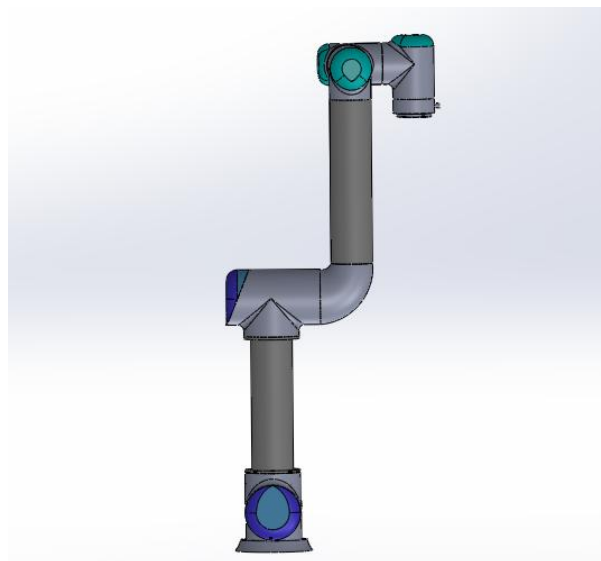


Ilustración 4.1 Modelado en Solidworks del robot Ur5

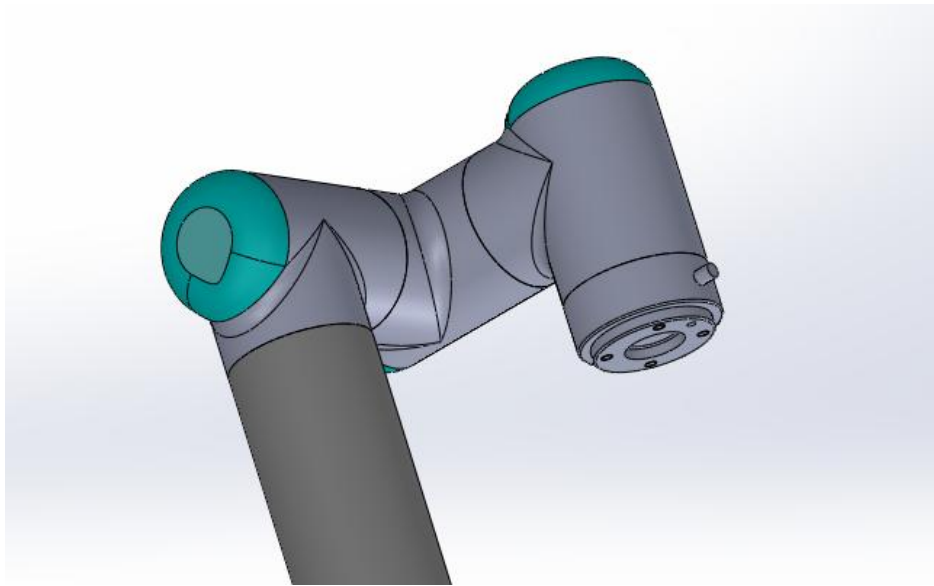


Ilustración 4.2 Modelado en Solidworks del robot Ur5

Con esto se consigue varias cosas:

- Un diseño dimensionalmente coherente.
- Detección de problemas de construcción con antelación, que pudieran no ser localizados por el diseñador hasta después de su construcción.
- Tener una visión global más completa del diseño.

Otro problema que se planteó inicialmente fue el de cómo hacer que todas las herramientas a desarrollar de construcción tan diversa pudieran acoplarse a la misma brida de sujeción, ya que de no ser así se haría necesario la fabricación del mismo número de bridas que de herramientas, lo cual empeoraría y encarecería el diseño. Esto se solucionó con el siguiente modelo de brida:

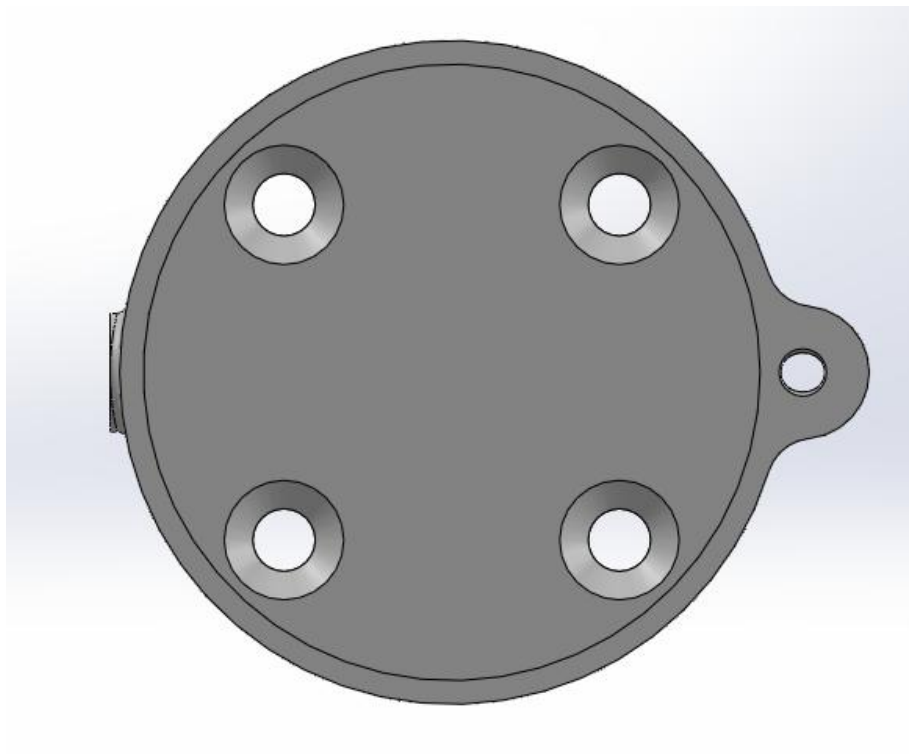


Ilustración 4.3 Diseño en Solidworks de brida elegido

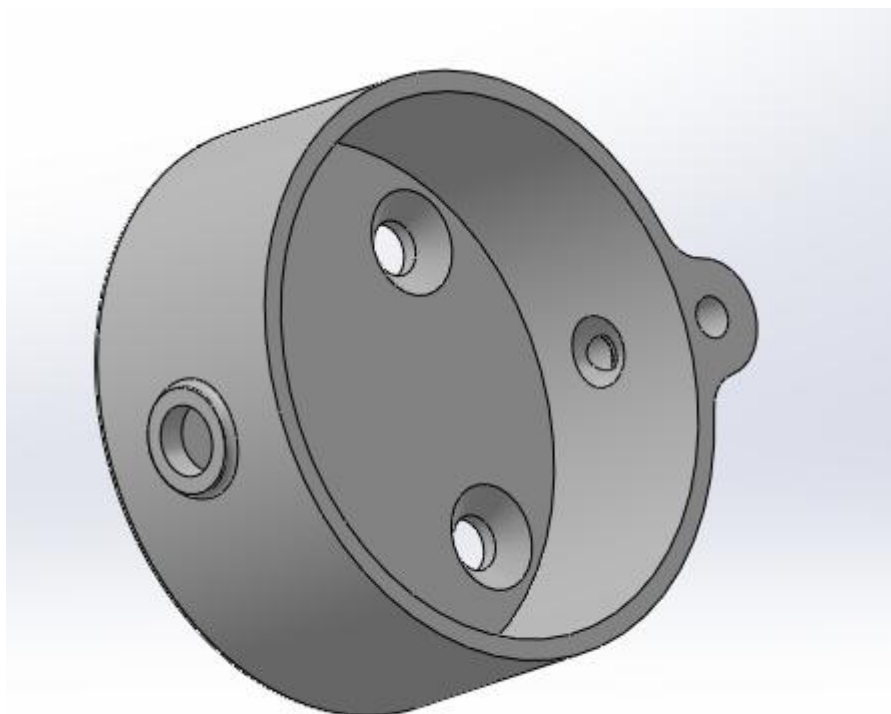


Ilustración 4.4 Diseño en Solidworks de brida elegido 2

La brida cuenta con cuatro agujeros avellanados para el acople con el robot, un agujero en un lateral pasante para la sujeción con las herramientas y una oreja con dos agujeros en sus dos caras. A continuación se muestra una imagen de la brida real:



Ilustración 4.5 Diseño real de brida

Mediante un pasador de anilla, con un chaflán en su otro extremo se realiza su extracción manualmente de una manera cómoda, fácil y sin manejo de herramienta. Para que el pasador no se desplace longitudinalmente de su origen por vibraciones o por movimiento del robot se ha introducido en los agujeros de la oreja un tornillo sin cabeza, un muelle y una bola que comprime al pasador permitiendo restringir el desplazamiento del mismo, además de poder regular la fuerza que el usuario tiene que ejercer para extraer el pasador. Para una mejor visualización del sistema a continuación se muestran en Solidworks y en imagen real:



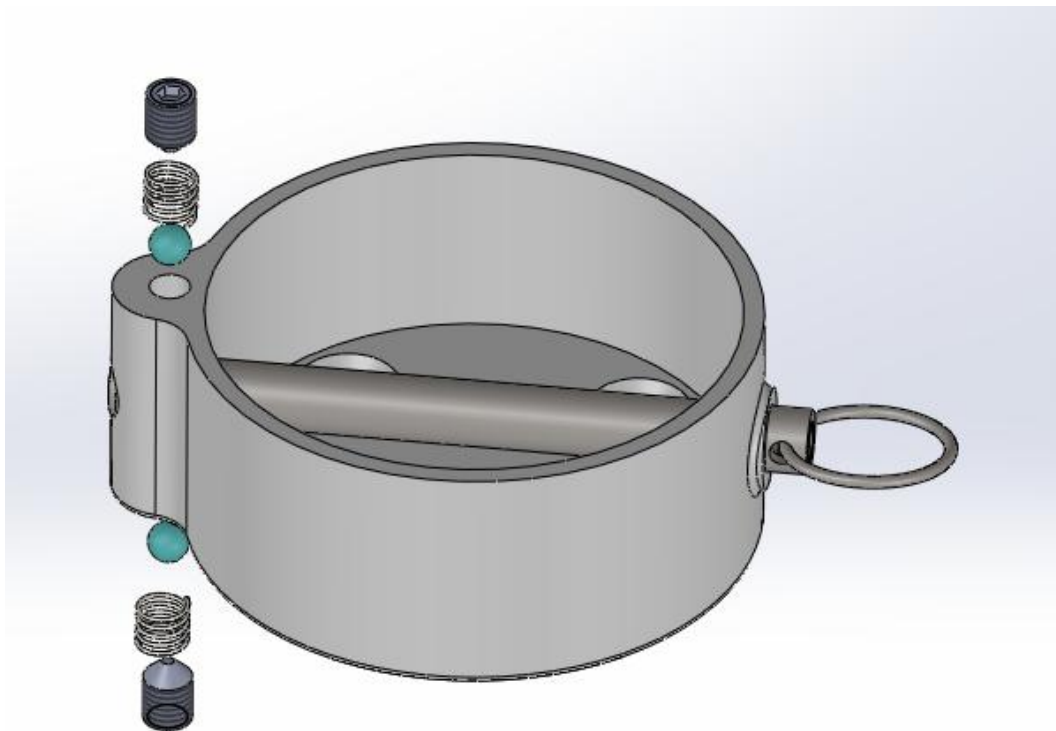


Ilustración 4.6 Mecanismo de la brida en Solidworks

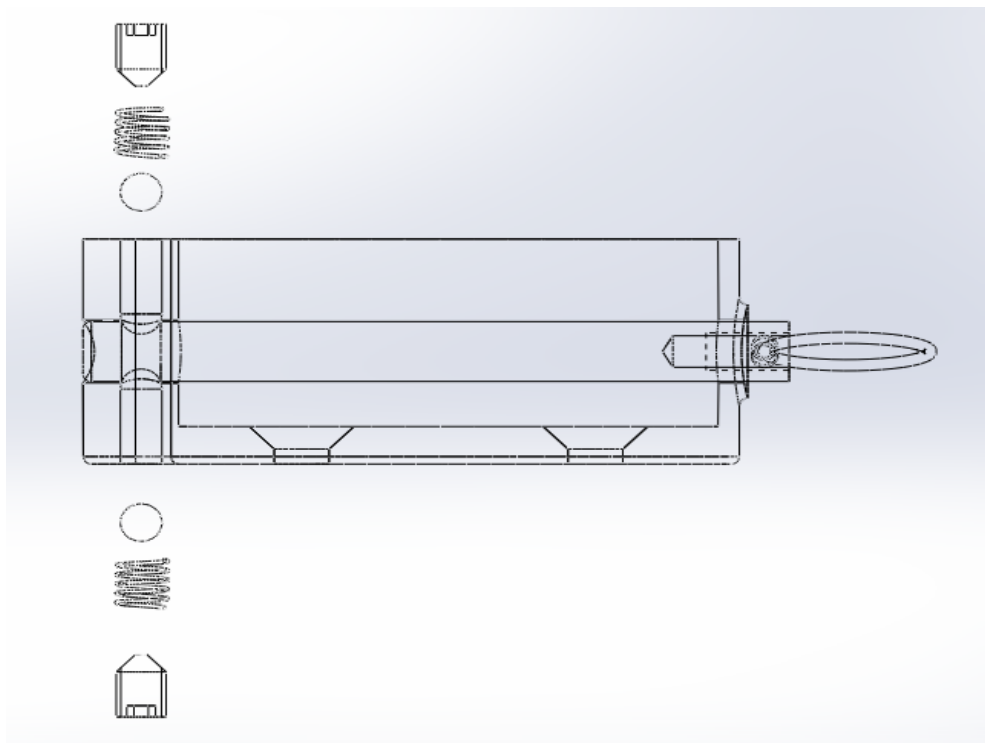


Ilustración 4.7 Esqueleto del mecanismo de la brida en Solidworks

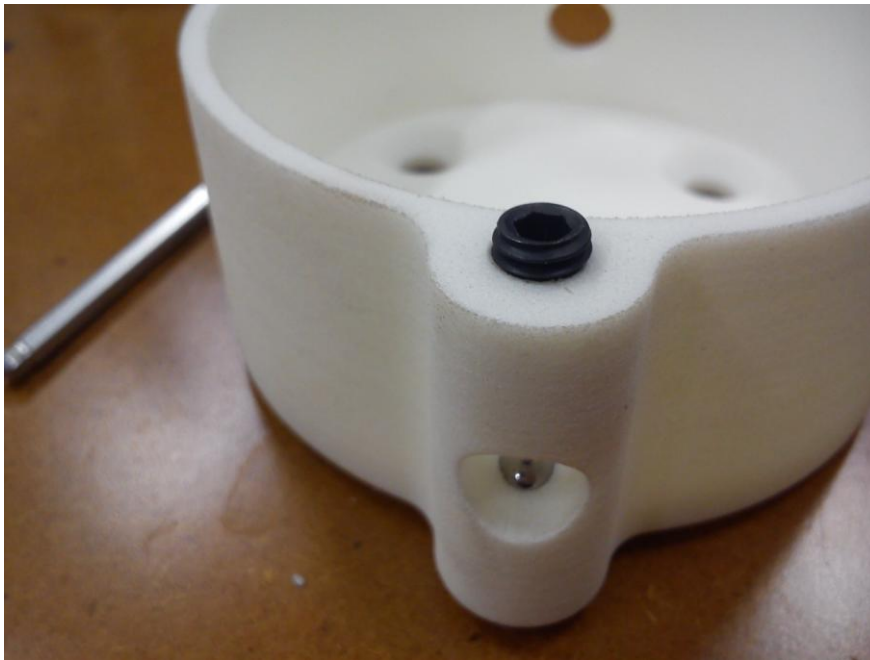


Ilustración 4.8 Mecanismo de la brida en imagen real

De esta manera se consigue:

- Simplificar el diseño, puesto que sólo es necesario una brida común para todas las herramientas.
- Reducir tiempos en los cambios de herramienta.
- Reducir el número de elementos que componen el conjunto de las herramientas.

#### **4.1.2 Fase de la elección de los componentes neumáticos y compra de material**

Un problema que surgió en esta fase fue el de cómo tener un grado elevado de realismo en las herramientas y el cómo seleccionar los elementos neumáticos más convenientes en las herramientas funcionales. Para tener cierto grado de realismo se siguieron estos pasos:

- Se observó los diseños de los modelos comerciales existentes para saber qué elementos funcionales los constituían y que materiales y dimensiones son fabricados.
- Una vez identificados se rediseñaron, se mejoraron o se readaptaron según procediese para modelo de robot Ur5.

Para elegir los componentes neumáticos más convenientes:

- Se identificaron todos los componentes necesarios para alcanzar los objetivos en catálogos de empresas.
- Se compararon características técnicas de los elementos similares.
- Se pidió asesoramiento técnico a la empresa suministradora.

#### **4.1.3 Fase de fabricación del prototipo**

Para esta fase, cuando todo está diseñado con la herramienta de diseño Solidworks, surgió el problema de cómo fabricar todas las herramientas lo más baratas posibles. Para ello:

- Se estimó lo que costaría prototipar todas y cada una de las piezas destinadas a ello.
- Se valoró y se comparó con los precios de fabricarlas respecto a otras técnicas de fabricación.
- Se tomó la decisión del método de fabricación en base a las conclusiones sacadas en el anterior punto.



## 4.2 Selección de la pistola de soldadura

Después de sondear el mercado para ver las alternativas válidas, en este proyecto se decidió diseñar una pistola de soldadura de tipo MIG/MAG por los siguientes motivos:

- Ocupa un espectro amplio de porcentaje de utilización en el campo de la soldadura robotizada con respecto a la TIG por ejemplo.
- Aunque la pistola no va a ser funcional, es la técnica que posee el equipo más barato en soldadura automatizada.
- Con el sistema MIG/MAG se puede soldar en todas las posiciones lo que es fundamental en soldadura robotizada.
- Con esta técnica se podría soldar todo tipo de aceros como los aceros al carbono y de aleación, inoxidable, aluminio, magnesio, cobre, hierro, titanio y zirconio (Uribe, 2015).

La estructura de construcción de la pistola está diseñada para llevar el equipo de mangueras por fuera, ya que la instalación de las mangueras por dentro no es posible físicamente debido a que el robot UR5 no está preparado para ello.

#### 4.2.1 Descripción general de la pistola de soldadura

Se trata de un mecanismo con una serie de piezas que forman el conjunto. Consta de una pieza intermedia para el acople con el robot, y un soporte que es lo que sujeta la herramienta en sí y lo une a la pieza intermedia. El acople con el robot se realiza por medio de una pasador que lleva colocado una anilla. Con esto se consigue desacoplar toda la estructura de la herramienta en menos de dos segundos. En el mango lleva colocado el diodo LED para poder realizar la simulación de la soldadura

Una vez explicado esto, se va a mostrar una ilustración del modelado final de la herramienta montada en el robot, posteriormente se explicaran cada uno de los elementos que lo componen:

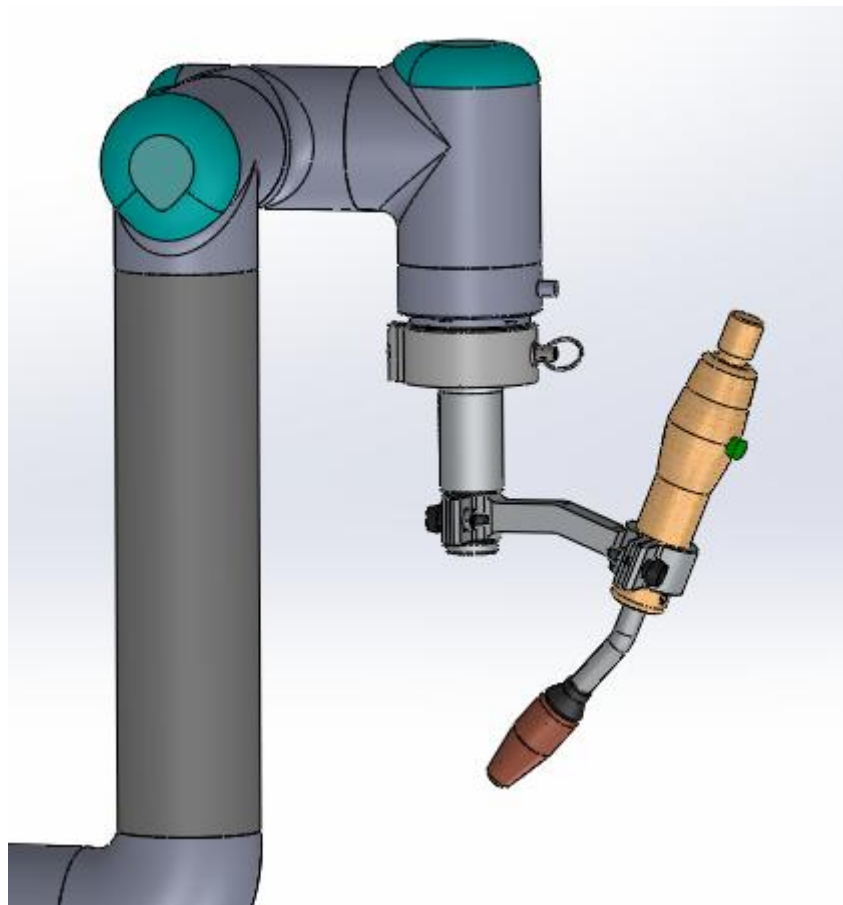


Ilustración 4.9 Robot Ur5 con herramienta de soldadura

#### 4.2.2 Componentes mecánicos de la pistola de soldadura

El conjunto de la herramienta seleccionada se compone de:

- Módulo estacionario: Es el elemento que se encarga de conectar la herramienta con el robot, está fabricado mediante prototipado en poliamida PA 2200, posee un agujero pasante de las mismas dimensiones de la brida donde va alojado un pasador de anilla para poder extraer la herramienta con rapidez y facilidad. El elemento es se muestra a continuación tanto diseñado en Solidworks como en imagen real:

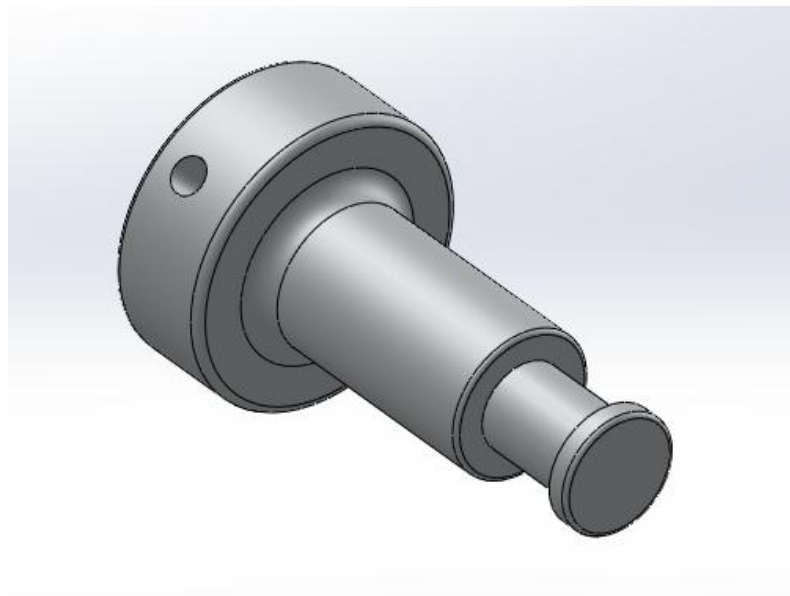


Ilustración 4.10 Módulo estacionario en Solidworks



Ilustración 4.11 Módulo estacionario real

- Soporte: Es el componente que se agarra al módulo estacionario por un lado, y por el otro lado se agarra al mango de la herramienta, se ha fabricado con prototipadora 3d en el material poliamida PA 2200. A continuación se muestra en Solidworks y en imagen real:

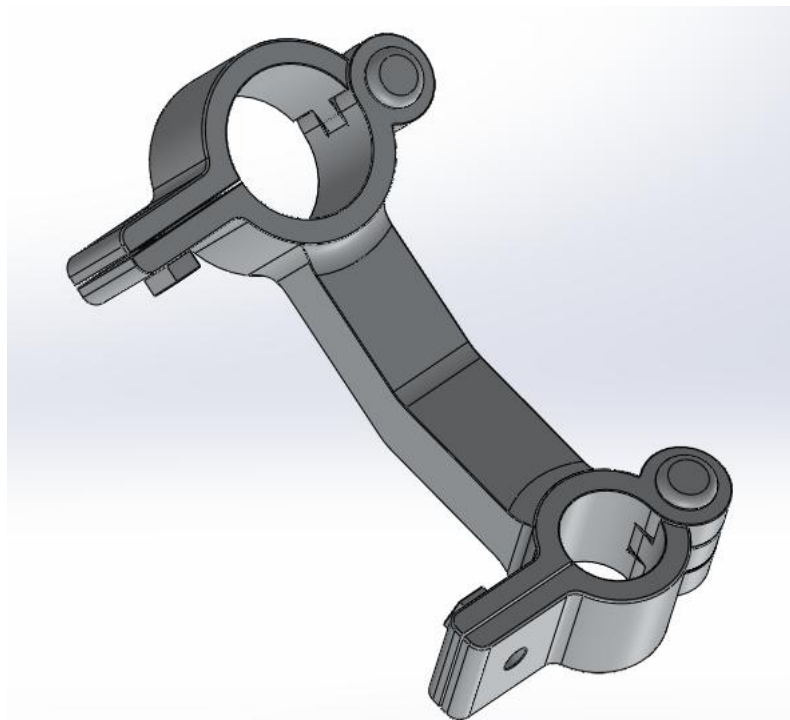


Ilustración 4.12 Soporte en Solidworks





Ilustración 4.13 Soporte en imagen real

Tiene una inclinación de cuerpo de  $22,5^\circ$  y la forma de agarre es un sistema de mordaza accionada mediante un tornillo moleteado en el que rosca en una tuerca alojada en el otro extremo en un espacio preparado para embutirla mediante prensa consiguiendo realizar el apriete manual sin necesidad de la utilización de herramienta.

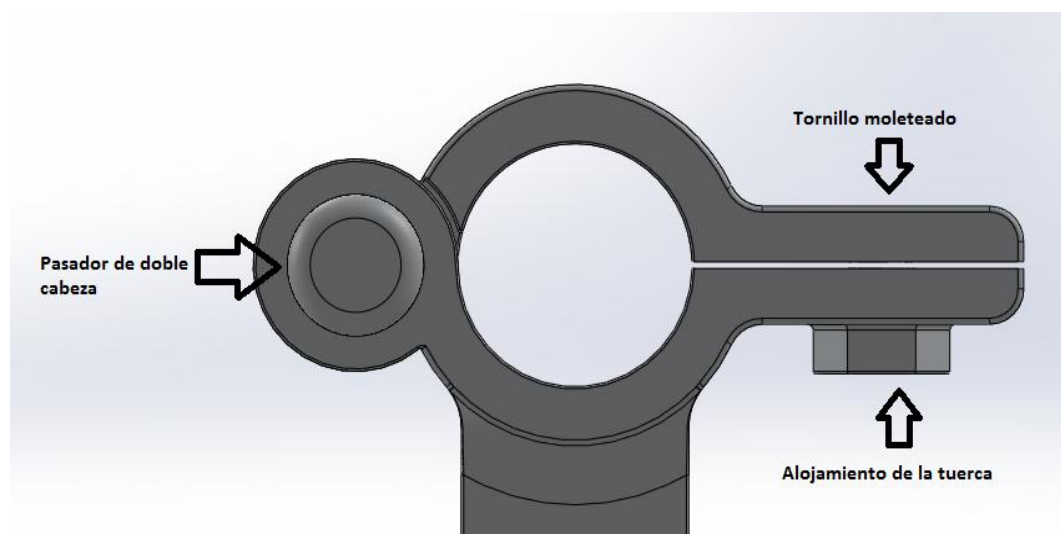


Ilustración 4.14 Soporte



Ilustración 4.15 Tornillo moleteado utilizado

El diseño está basado en un sistema de grillete en el cual la parte superior de la mordaza se levanta girando sobre un eje de diámetro tangente al diámetro de la mordaza, El pasador de doble cabeza se ha prototipado ya dentro del sistema, la ventaja es que va montado todo en la misma pieza. El pasador el cual se ha basado el diseño es el siguiente:



Ilustración 4.16 Pasador de doble cabeza

- Mango: Es el elemento por el cual se consigue el manejo de la herramienta, posee dos agujeros, el superior es para instalar el diodo LED y el inferior es un agujero para fijar en una posición determinada el tubo conductor mediante un pasador cilíndrico, este mango se ha fabricado en torno por arranque de viruta en madera de fresno.



Ilustración 4.17 Pasador seleccionado

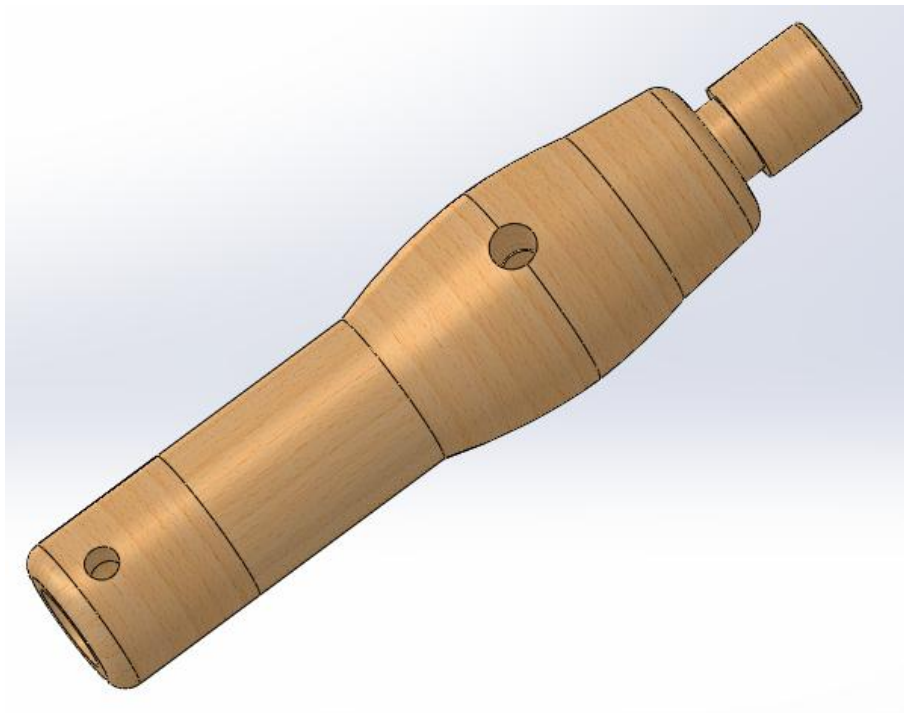


Ilustración 4.18 Mango en Solidworks



Ilustración 4.19 Mango barnizado en imagen real

-Tubo conductor: Es el componente que teóricamente llevaría el sistema de refrigeración, el hilo y el gas hasta la boquilla, lleva un agujero tal y como se ve en la siguiente figura para meter el pasador cilíndrico y fijarlo al mango. En el otro extremo lleva una rosca exterior para roscar el difusor y posee una inclinación igual a la del soporte de  $22,5^\circ$ . A continuación se muestra varias imágenes tanto el diseño en Solidworks como en imagen real:

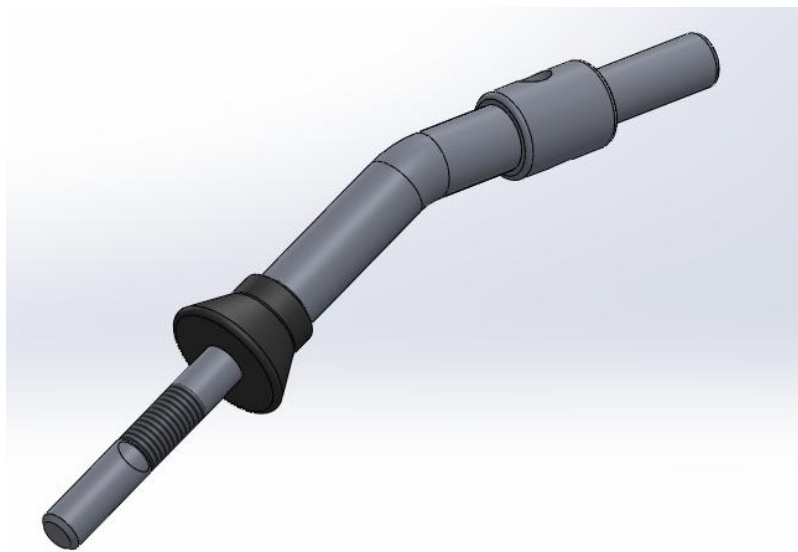


Ilustración 4.20 Tubo conductor en Solidworks



Ilustración 4.21 Tubo conductor en imagen real

-Difusor: Es el encargado de realizar la difusión del gas de manera uniforme sobre la pieza a trabajar, aunque no es necesaria su construcción, ya que la herramienta no es funcional, se ha decidido reproducirla para darle más realismo. Posee una rosca interior para conectarla al tubo conductor y una rosca exterior para instalar la boquilla, seguidamente se muestra tanto en Solidworks como en imagen real:

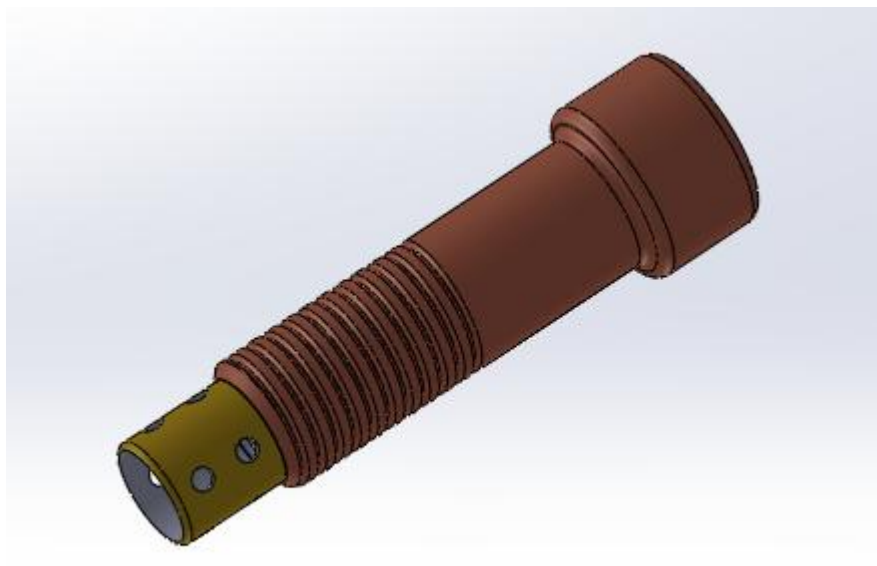


Ilustración 4.22 Difusor en Solidworks





Ilustración 4.23 Difusor en imagen real

- Boquilla: Es el elemento que porta el electrodo consumible y asegura una disipación eficiente del calor generado. Lleva una rosca interior para acoplarse al difusor de manera que este queda totalmente dentro de la boquilla. A continuación se muestra el diseño en Solidworks y en imagen real:

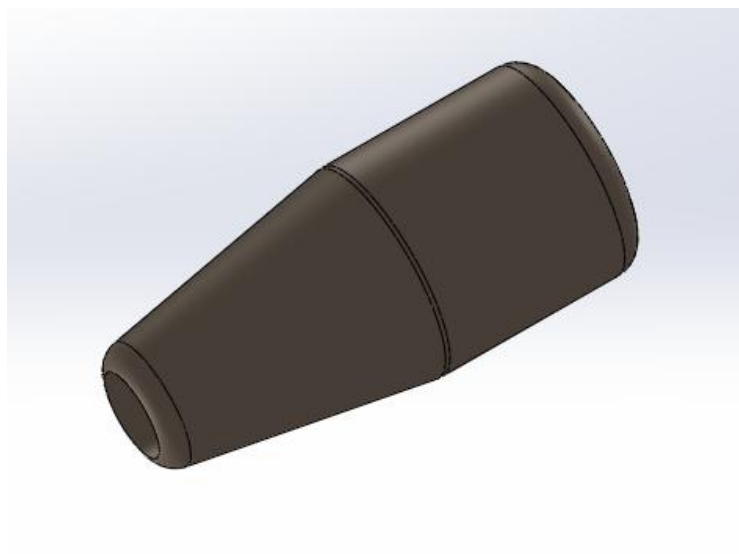


Ilustración 4.24 Boquilla en Solidworks



Ilustración 4.25 Boquilla en imagen real

En el **Anexo 6** de este proyecto se muestra un dibujo de explosión del conjunto con lo ya explicado anteriormente, desde la muñeca del robot hasta la boquilla, así como los planos de fabricación.





### 4.3 Selección del bastidor de ventosas

En cuanto al bastidor de ventosas en este proyecto se ha decidido realizar un diseño multicelular de estructura variable mediante juego de perfiles cuadrados y conectores por los siguientes motivos:

- Son los bastidores más utilizados en la industria robótica
- Posibilidad de modificar las distancias de las ventosas, característica que en los de estructura fija no es posible
- Permite levantar planchas de dimensiones distintas y con huecos de material.

En el análisis de alternativas se ha podido comprobar que tenemos dos posibilidades generales en cuanto a la elección de los perfiles, realizarlo con perfiles cuadrados o bien hacerlo con perfiles circulares. En este proyecto se ha decidido hacerlo con perfiles cuadrados por los siguientes motivos:

- Menor probabilidad de deslizamiento entre el conector de la ventosa y el perfil.
- Diseño más seguro.

En cuanto al circuito de vacío los elementos que se han seleccionado son:

- Una válvula 3/2 para el gobierno del circuito
- Un eyector de vacío para alimentar a las ventosas
- Dos racores en T para realizar los empalmes necesarios
- Un racor en doble T
- Un vacuostato que sirve para controlar el nivel de vacío que se tiene en las ventosas
- Cuatro ventosas de tipo fuelle

#### 4.3.1 Descripción general del bastidor de ventosas

Se trata de una estructura que por medio de una pieza intermedia se realiza el acople con el robot. Lleva una placa de metacrilato donde van atornillados todos los elementos neumáticos de la estructura, además de los perfiles. Lleva cuatro piezas diseñadas para poder variar las distancias entre centros de las ventosas en los tres ejes. Los elementos neumáticos seleccionados se explican más en profundidad en el punto 5 de la memoria, dicho lo cual a continuación se muestran varias imágenes del resultado final del modelado en 3d:

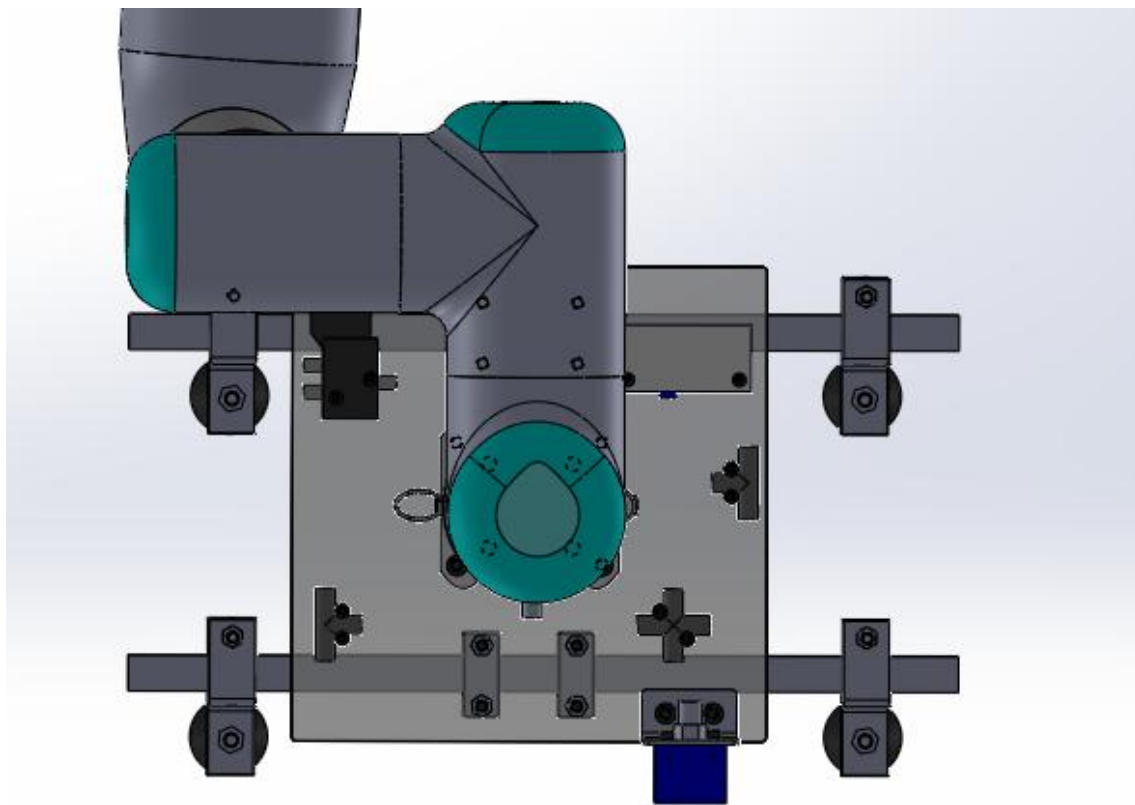


Ilustración 4.26 Vista superior bastidor de ventosas

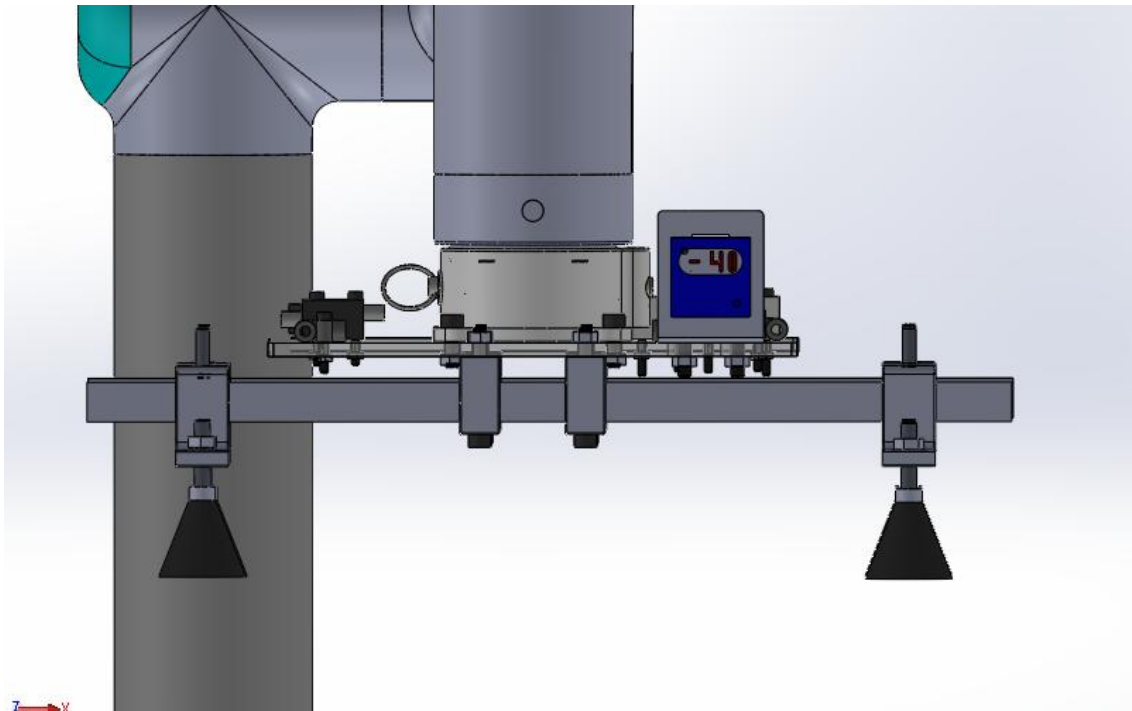


Ilustración 4.27 Vista frontal bastidor de ventosas

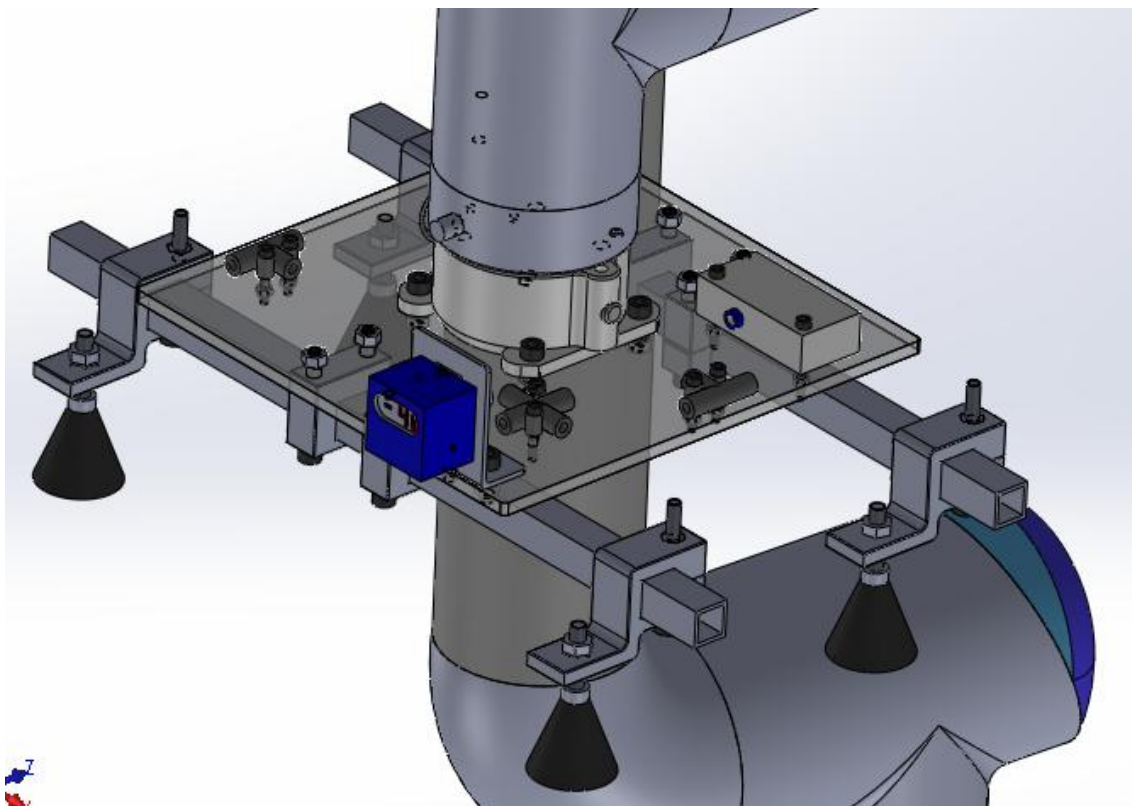


Ilustración 4.28 Vista isométrica bastidor de ventosas

#### 4.3.2 Componentes del bastidor de ventosas

El conjunto de la herramienta se compone de:

- Agarre a brida: Es una pieza prototipada en poliamida PA2200 diseñada para realizar el agarre del bastidor al robot, posee un cuerpo cilíndrico con un agujero pasante para meter el pasador de anilla y unas orejas que sirven de base. Las orejas llevan cuatro agujeros preparados para insertar cuatro tornillos M5 y realizar el agarre a la placa de base. A continuación se muestra un dibujo de explosión de lo explicado anteriormente y la pieza en cuestión en Solidworks y en imagen real:

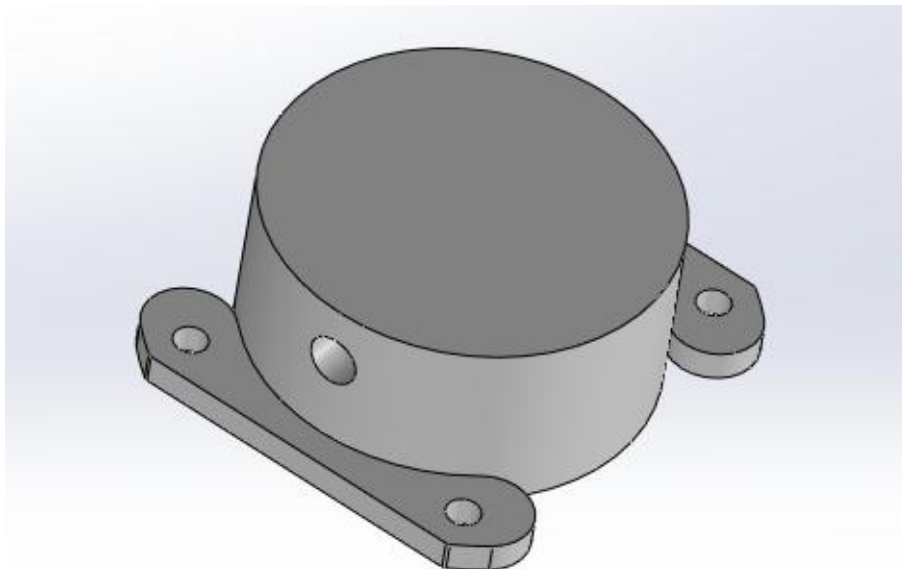


Ilustración 4.29 Agarre a brida en Solidworks

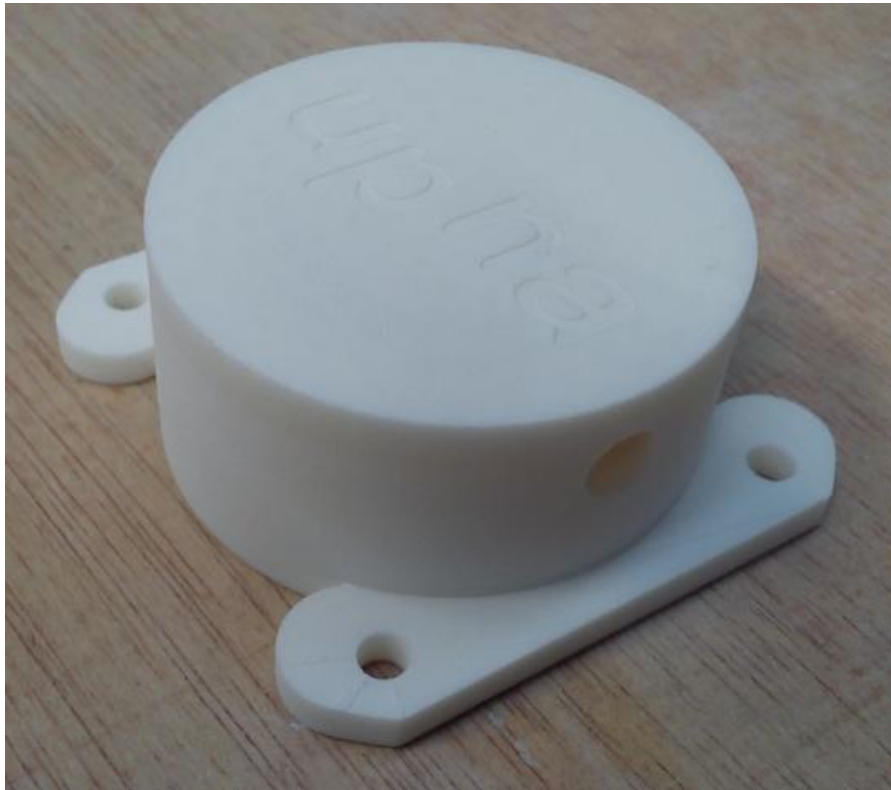


Ilustración 4.30 Agarre a brida en imagen real

- Placa de base: Es una chapa de metacrilato translucido de 200x200x5 mm destinada a sujetar todas las piezas y el material neumático de la estructura. Posee diez agujeros preparados para tornillos de M3 para la sujeción de:

- La válvula electro-neumática 3/2.
- El eyector de vacío.
- Los racores.

Catorce agujeros preparados para insertar tornillos M5 para la sujeción de:

- El agarre de la brida.
- Los agarres al perfil.
- Una pletina para la instalación del vacuostato.

A continuación se muestra un dibujo en Solidworks de la pieza en cuestión y una imagen real:

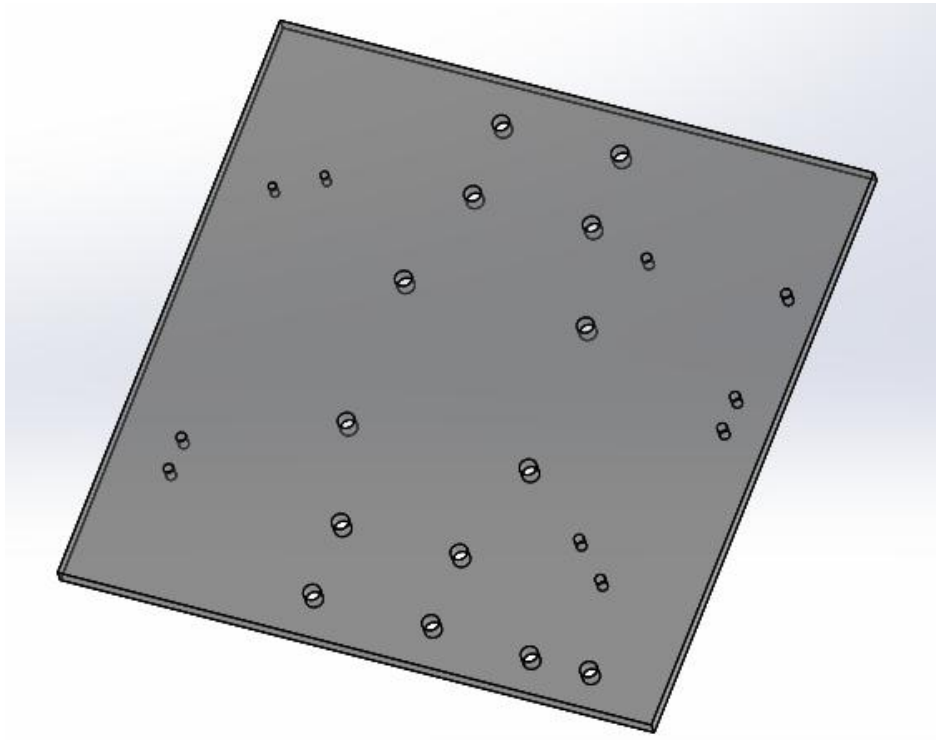


Ilustración 4.31 Placa de base en Solidworks

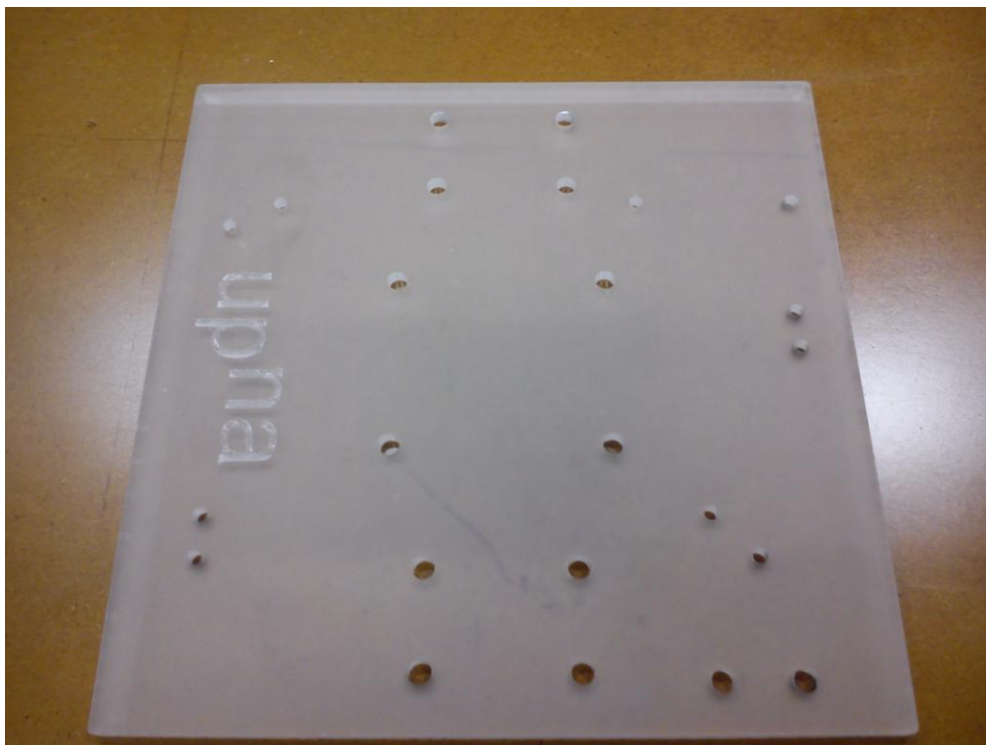


Ilustración 4.32 Placa de base en imagen real

- Agarres al perfil: Son los elementos que se encargan de sujetar el perfil a la placa de base, van atornillados a esta con dos agujeros roscados de M5. Está fabricado mediante máquina de prototipado en poliamida

PA2200. Posee un hueco de 0,6mm para amordazar al perfil mediante tornillo allen con el fin de que se fabrique en un solo sólido:

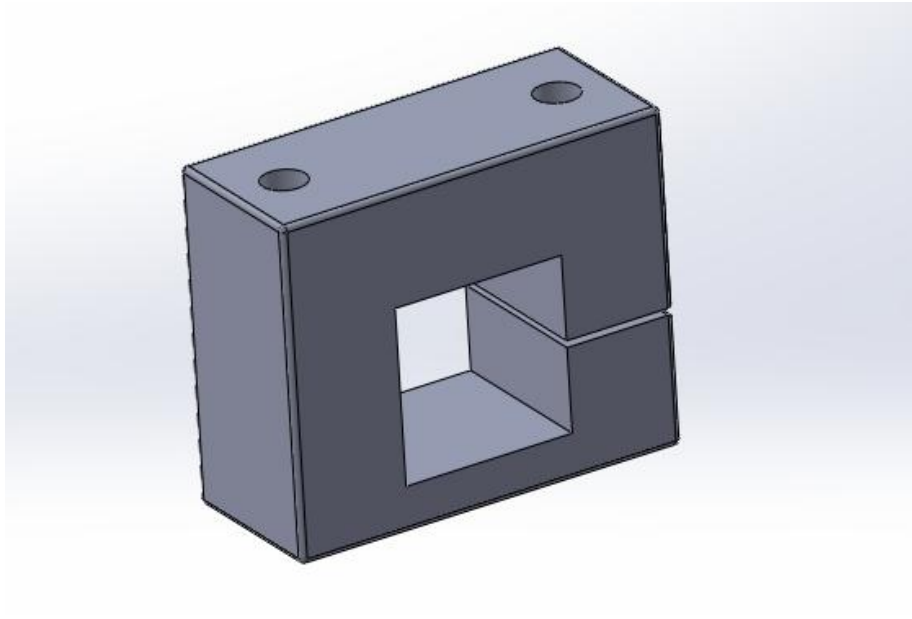


Ilustración 4.33 Agarre de perfil en Solidworks

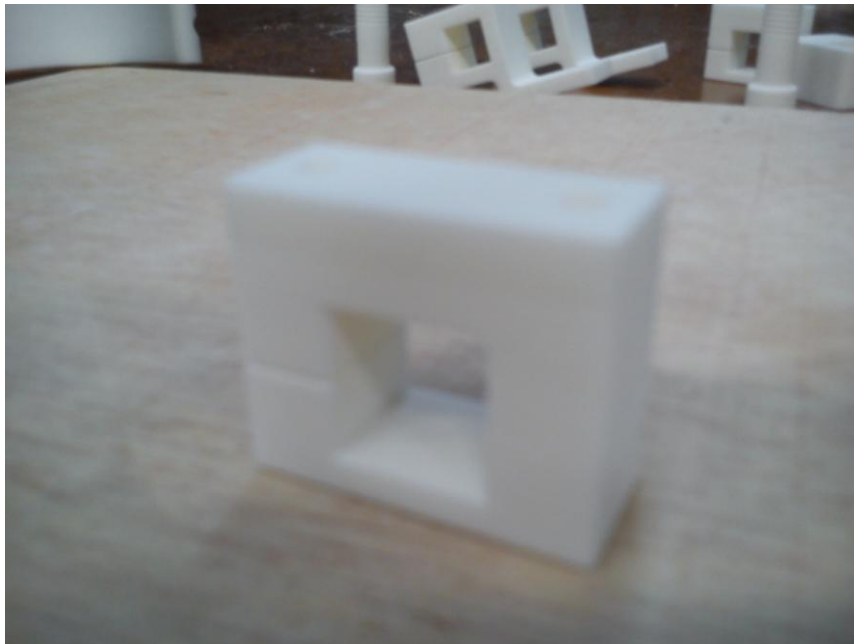


Ilustración 4.34 Agarre de perfil en imagen real

- Perfil cuadrado: Es el componente mediante el cual es posible por una parte la sujeción de los agarres de las ventosas y por otra parte es el mecanismo por el cual es posible cambiar la distancia longitudinal entre los centros de ventosas, el perfil es de 15x15x1,5 mm y mide 350mm. La



longitud entre ventosas puede variar desde 76mm hasta los 330mm según se requiera aplicación.

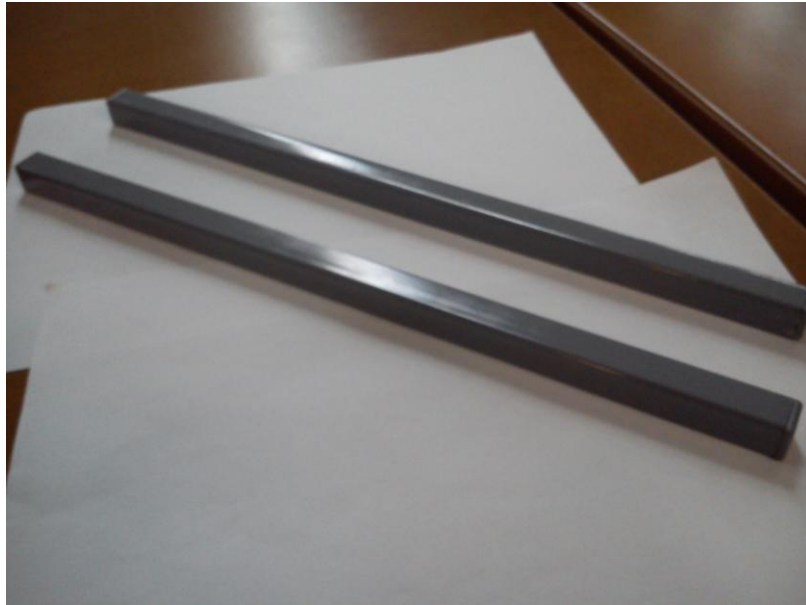


Ilustración 4.35 Perfil cuadrado hueco

- Agarre de ventosa: Es un componente prototipado en poliamida PA 2200 con la doble función de, primero servir de base para el amarre de las ventosas mediante un agujero en su base y segundo servir de enganche con el perfil cuadrado. El apriete con el perfil se realiza mediante un tornillo moleteado M5 que en el otro extremo de la pieza lleva un hueco preparado para la embutición de una tuerca consiguiendo que sea rápido y cómodo con un apriete del sistema manual. El funcionamiento correcto de esta pieza es:

- Meterlo en el perfil en el hueco.
- Seleccionar la distancia apropiada de la plancha a levantar mediante movimiento manual a través del perfil.
- Realizar el apriete de la mordaza mediante el tornillo moleteado



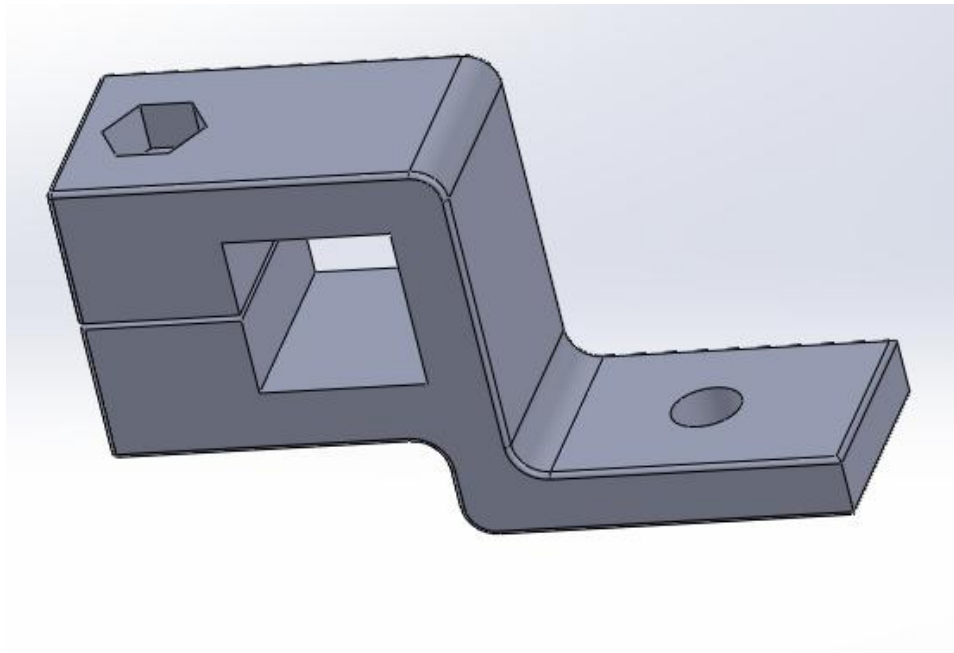


Ilustración 4.36 Agarre de ventosa en Solidworks

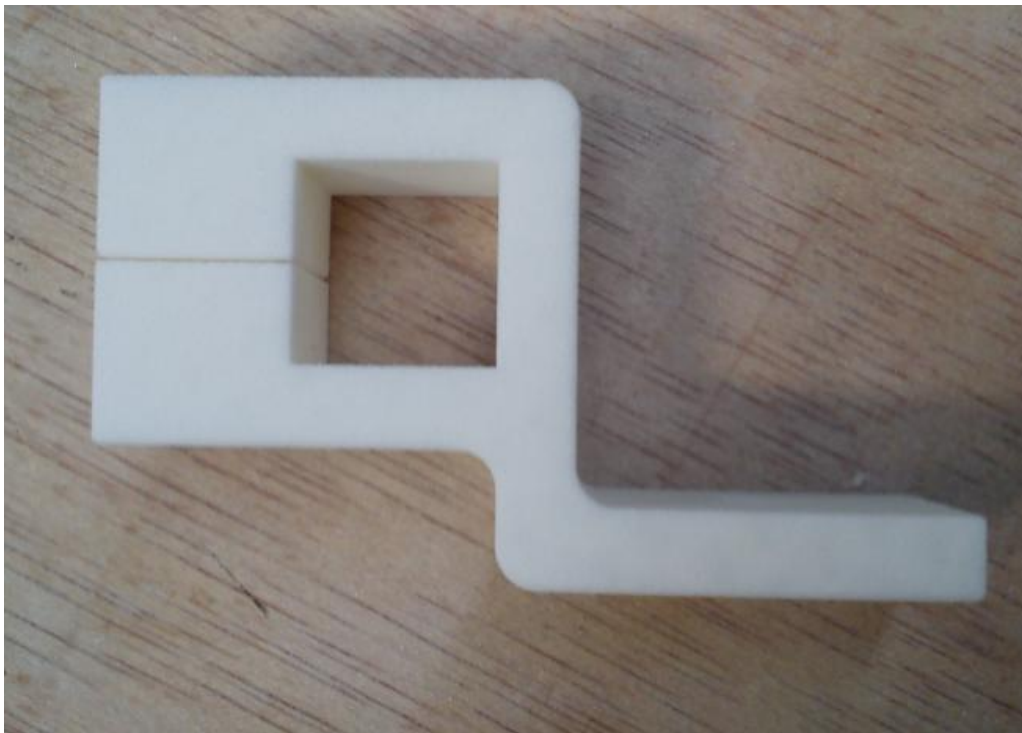


Ilustración 4.37 Agarre a ventosa en imagen real

- Pletina para el vacuostato: Es una chapa de policarbonato doblada mediante la aplicación de calor donde va colgado el vacuostato por medio de cuatro agujeros en donde van insertados cuatro tornillos

M3. También lleva dos agujeros en la base para amarrarlo a la placa de base mediante dos tornillos M5. La apertura situada en el centro de la pieza es para poder realizar la conexión neumática y eléctrica.

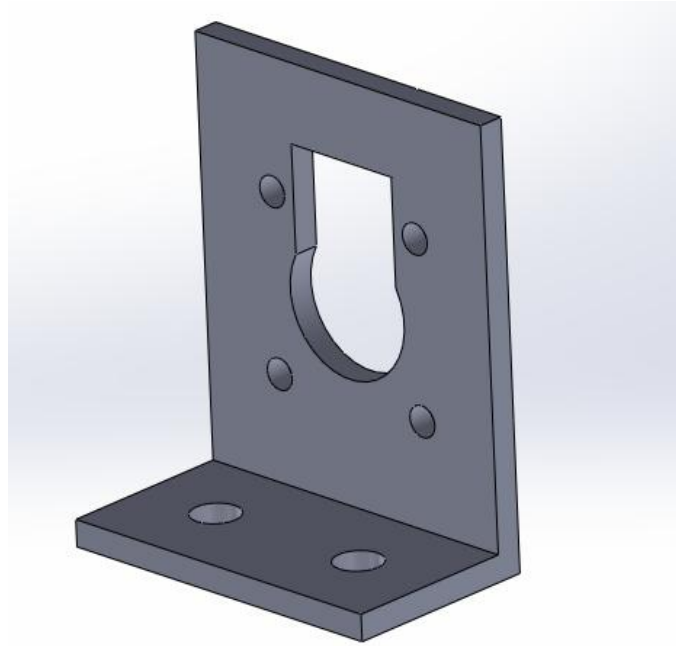


Ilustración 4.38 Pletina para la instalación del vacuostato en Solidworks

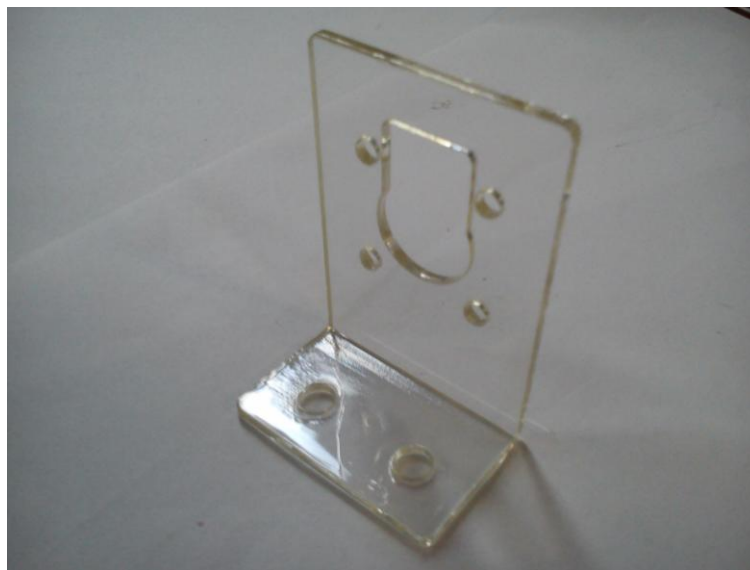


Ilustración 4.39 Pletina para la instalación del vacuostato en imagen real

#### **4.4 Selección de la pinza de soldadura por puntos**

En cuanto a la pinza de soldadura por puntos en este proyecto se ha decidido realizar una pinza de sistema de funcionamiento electro-neumático con cierre de electrodos tipo C por los siguientes motivos:

- Mayor facilidad de construcción respecto a las de tipo X
- Abaratamiento del sistema, ya que normalmente cuanto más sencillo es un diseño más se abarata

En el análisis de alternativas se ha podido comprobar que tenemos dos posibilidades generales en cuanto al funcionamiento de la pinza, realizarlo electro-neumático o servo-controlado, aunque la pinza no va a realizar soldaduras reales sí que se va a realizar el movimiento de cierre de los electrodos. Este movimiento va a ser mediante cilindro neumático. Los componentes neumáticos que lo integran son:

- Una electroválvula 5/2 para gobernar el circuito.
- Un cilindro neumático para el movimiento de cierre y apertura de los electrodos.

##### **4.4.1 Descripción general de la pinza**

Se trata de una caja de aluminio que hace de cuerpo de la estructura donde van internamente atornillados los elementos neumáticos, el cilindro neumático esta atornillado a la base de la caja con dos escuadras preparadas para ello, la electroválvula esta atornillada a un lateral en la tapa de esta. Se ha diseñado dos electrodos, uno inferior móvil que va roscado al vástago del cilindro neumático y el electrodo superior que permanece fijo a la caja por medio de una chaveta que impide su movimiento rotacional y un tornillo que restringe su

movimiento longitudinal por medio de en una pared adicional colocada dentro de la caja, la distancia entre electrodos antes del cierre es la misma que la carrera del cilindro e igual a 25mm.

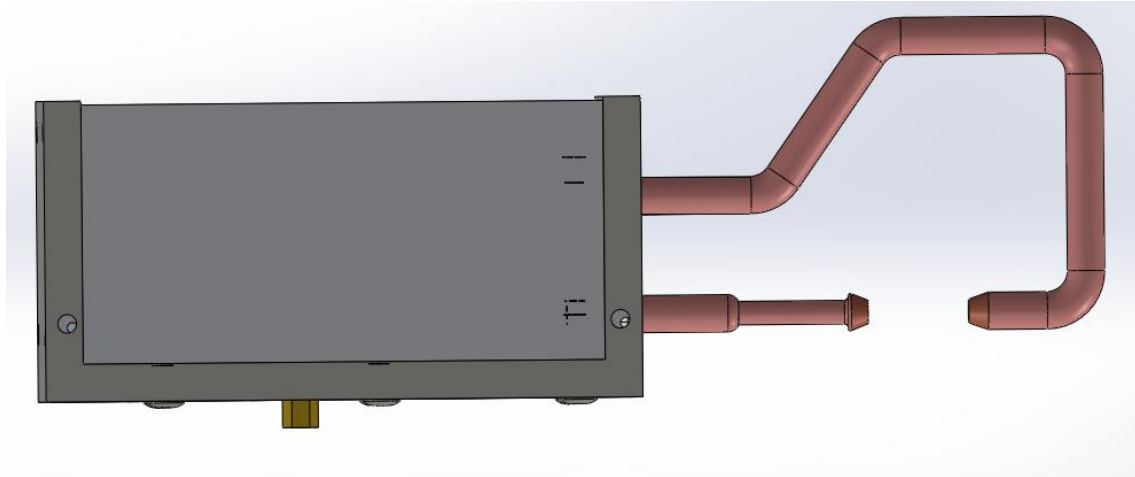


Ilustración 4.40 Vista lateral posicionamiento de los electrodos

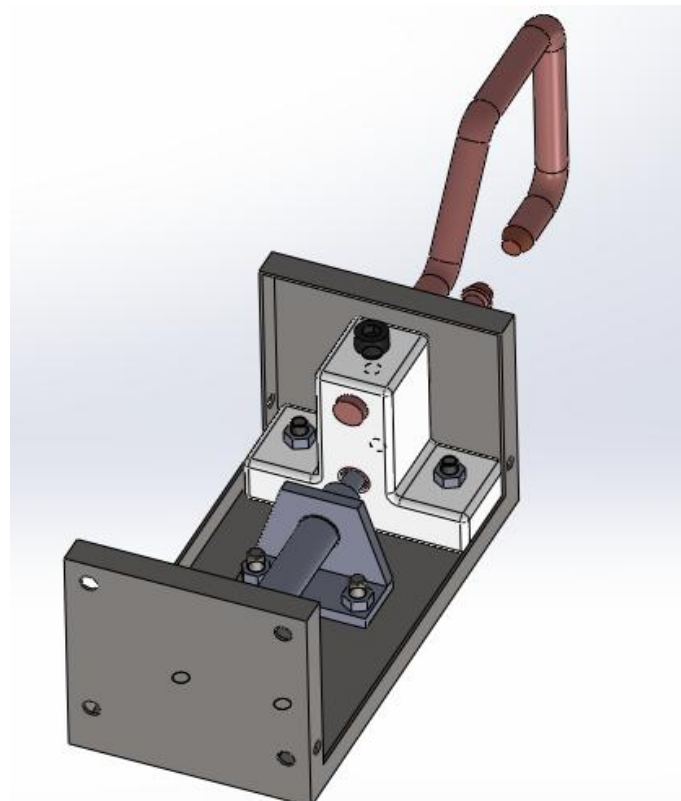


Ilustración 4.41 Posicionamiento de los elementos

La instalación en el robot se hace por medio de una pieza intermedia que va atornillada a la parte posterior de la caja, el acoplamiento en el robot se realiza insertando la pieza intermedia en la

brida y colocando el pasador de anilla. A continuación se muestran varias imágenes del resultado final del modelado en 3d:

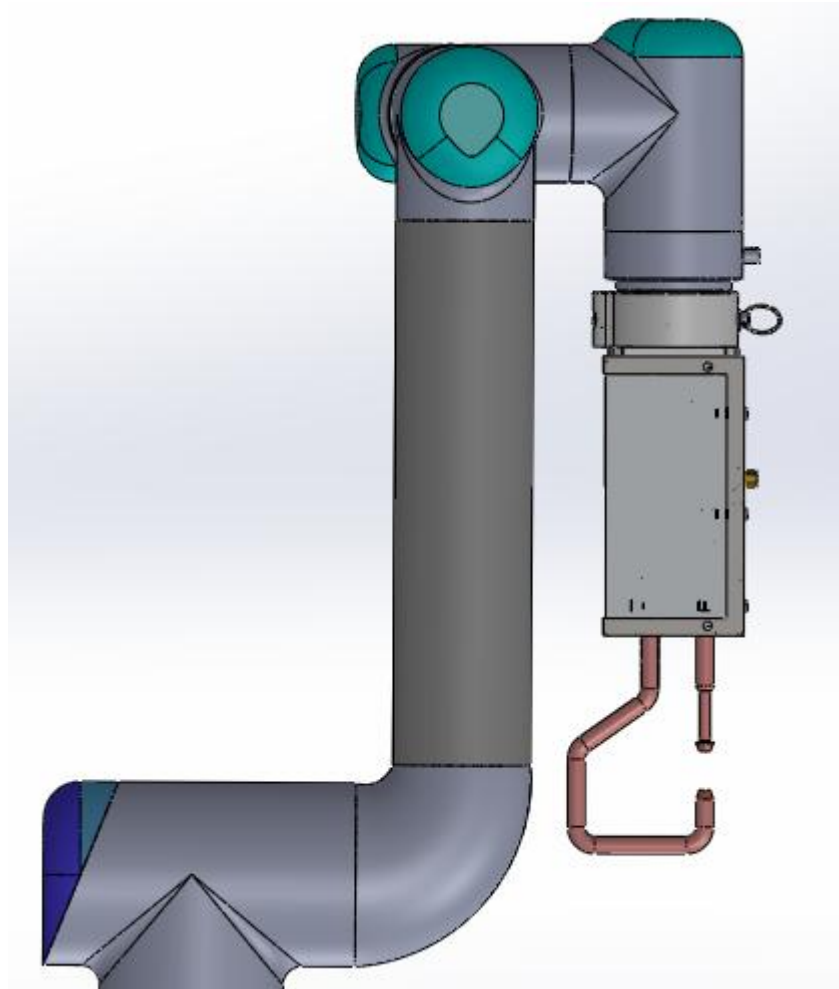


Ilustración 4.42 Vista lateral pinza de soldadura por puntos

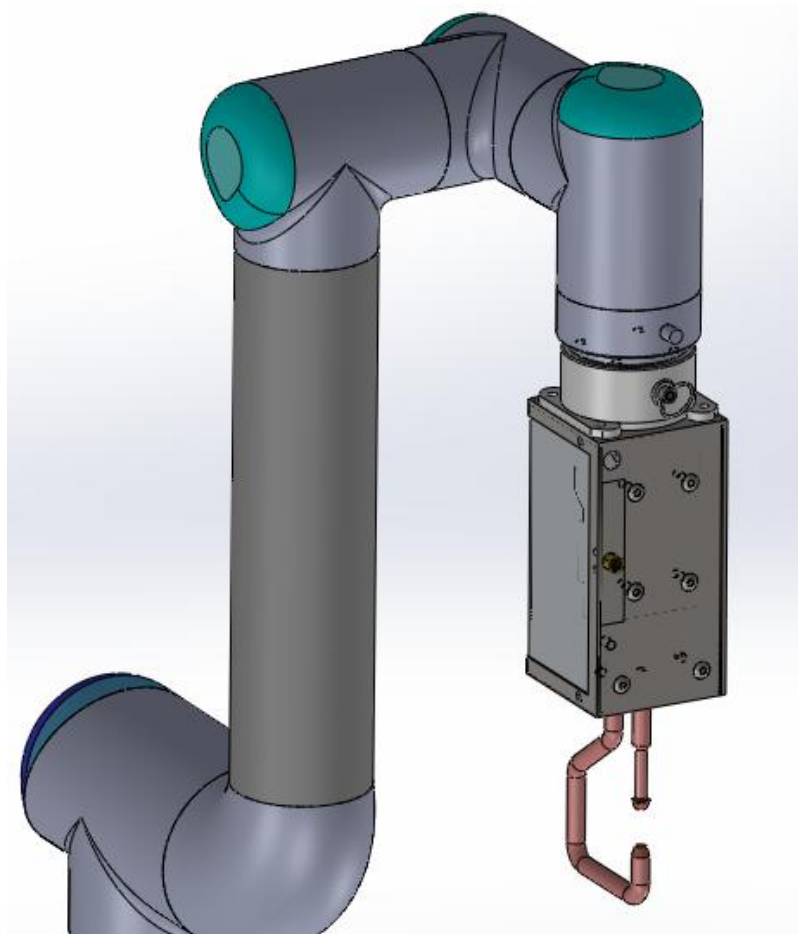


Ilustración 4.43 Vista isométrica pinza de soldadura por puntos

#### 4.4.2 Componentes mecánicos de la pinza

A continuación se explican los componentes mecánicos. El material neumático seleccionado se explica más en profundidad en el punto 5 de la memoria:

- Agarre a brida: Es la misma pieza prototipada que el agarre a brida del bastidor de ventosas, fabricada en poliamida PA2200 con función de realizarla conexión mecánica con la muñeca del robot con el mismo sistema de pasador de anilla para minimizar tiempos de cambio de herramienta.

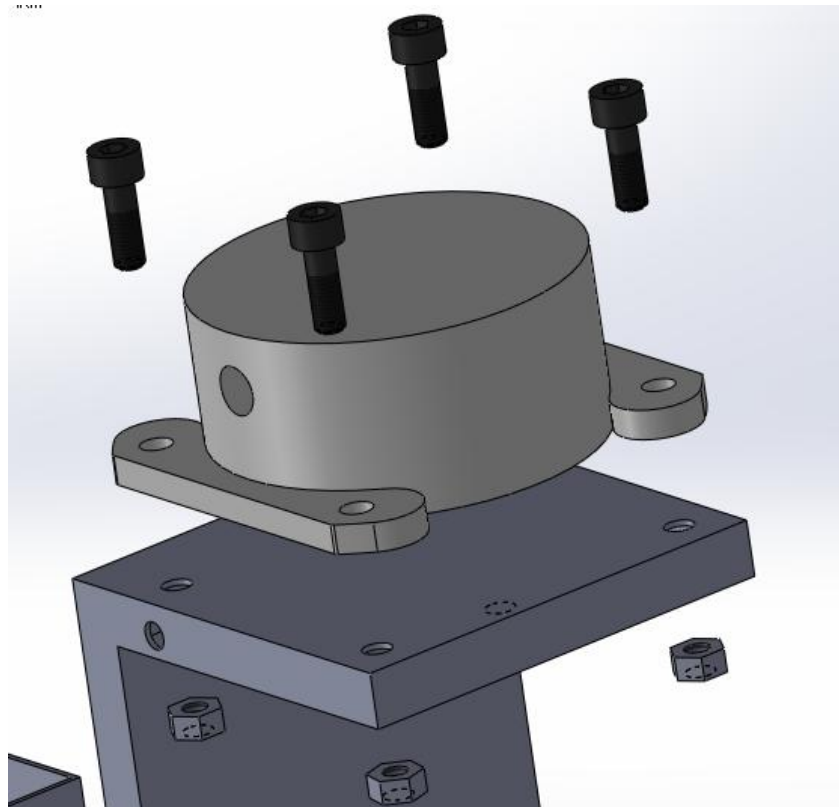


Ilustración 4.44 Explosionado de la fijación de la pieza agarre brida

- Electrodo superior: Es el elemento que está fijo cuando se realiza el cierre y la apertura de la pinza, para conseguir esto, se le ha fabricado un chavetero para encajar una chaveta de caras planas paralelas de 4x4x15 para impedir movimientos de torsión, para impedir movimientos longitudinales se le ha practicado un ranurado de 8x5 mm en la parte superior donde presiona un tornillo. Con este ranurado se consigue dar la posibilidad de poder presionar varios grosores de chapa. Tanto la parte superior del chavetero como el tornillo, están situados dentro de otra pieza adicional dentro de la caja:



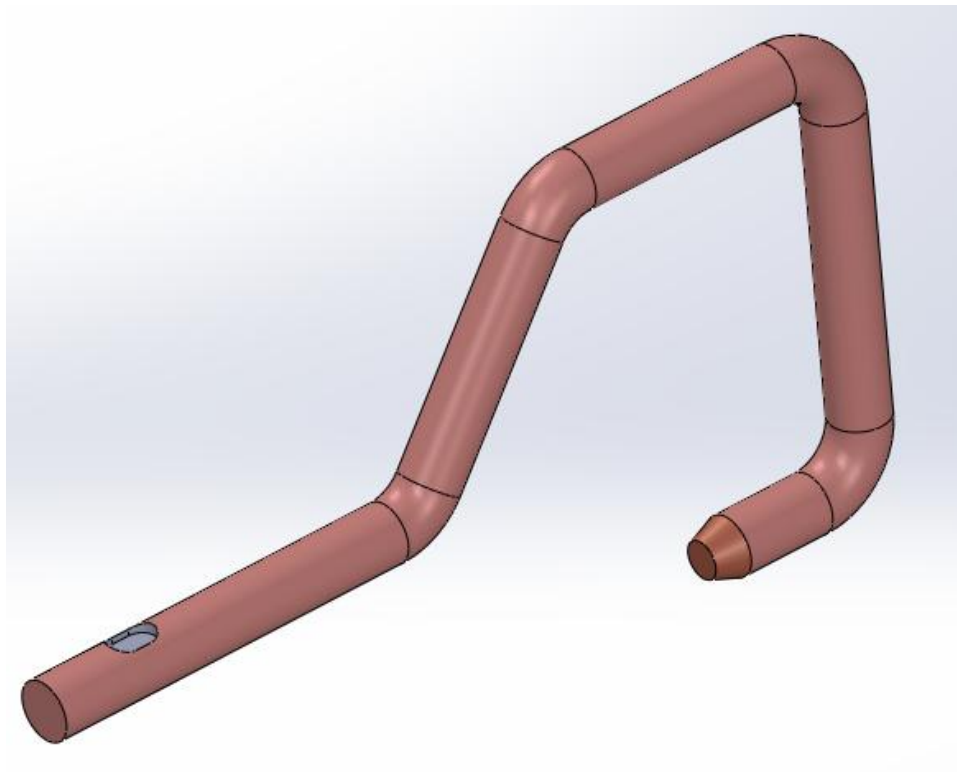


Ilustración 4.45 Electrodo superior en Solidworks



Ilustración 4.46 Electrodo superior en imagen real



- Electrodo inferior: Es el elemento móvil que está impulsado por el cilindro cuando se realiza el cierre y la apertura de la pinza, lleva un agujero roscado en la parte posterior para la colocación del vástago, tanto el electrodo inferior como el superior llevan en su punta el final truncado para la presión simulada de la chapa a soldar.

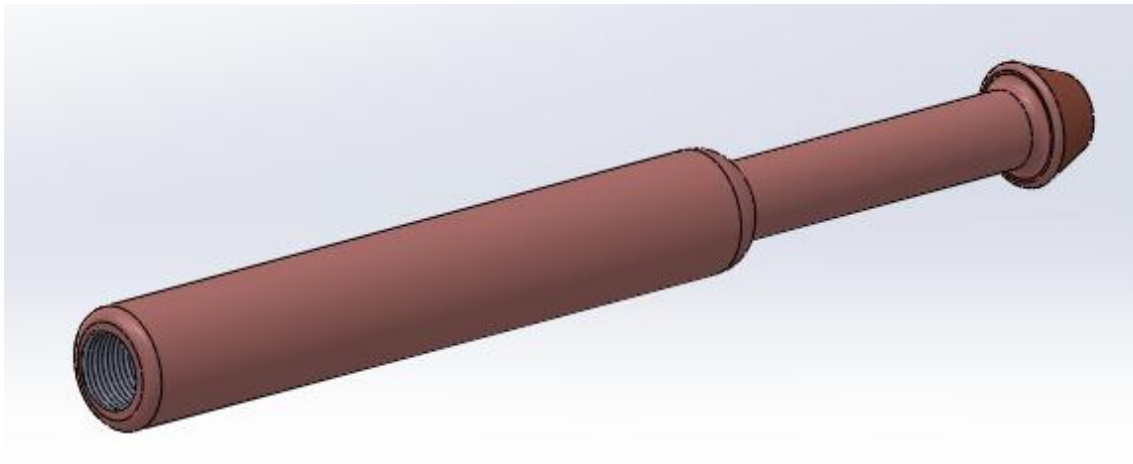


Ilustración 4.47 Electrodo inferior en Solidworks



Ilustración 4.48 Electrodo inferior en imagen real

- Cuerpo de la pinza: Se trata de una caja de aluminio de 152x76x76 de la marca Hammond Manufacturing para conexión eléctrico reconvertida en el cuerpo de la pinza de soldadura por puntos. Consta de dos partes desmontables unidas mediante cuatro tornillos autorroscantes, dos a cada lado. La caja en cuestión es la que se muestra a continuación:

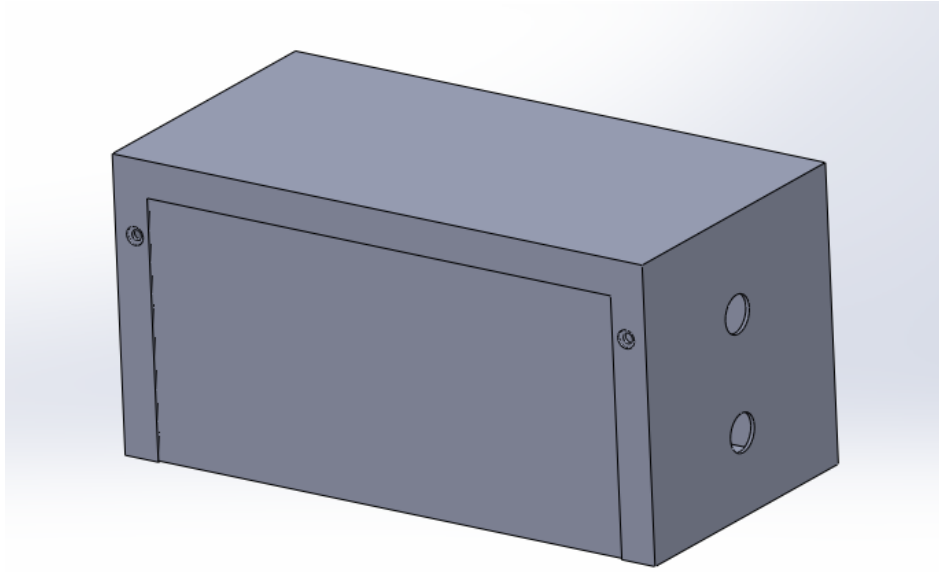


Ilustración 4.49 Caja de aluminio seleccionada en Solidworks

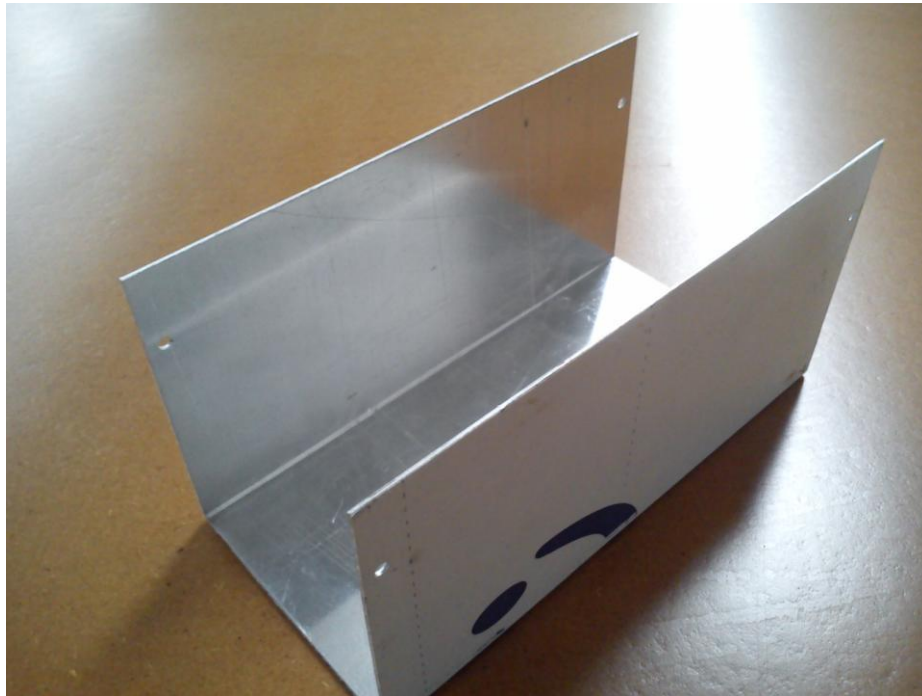


Ilustración 4.50 Parte superior en imagen real

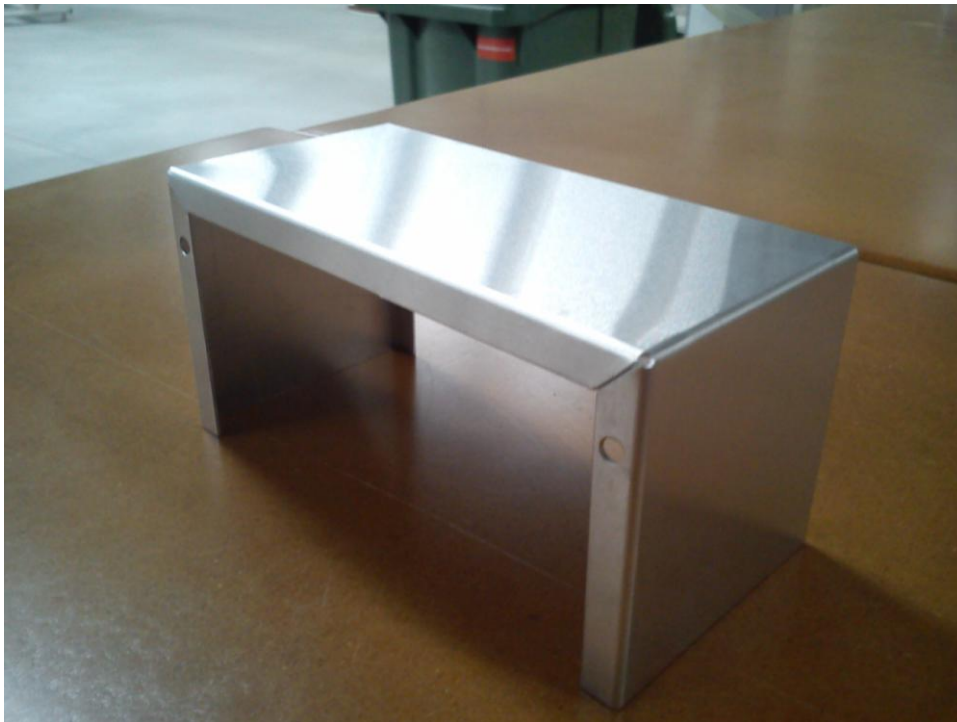


Ilustración 4.51 Parte inferior en imagen real

Para readaptarla, en este proyecto se han realizado las siguientes modificaciones:

- Dos agujeros taladrados en un lateral de la base de la caja para alojar los electrodos. El electrodo inferior es la parte móvil que

va unido al cilindro, se le ha añadido una pared en la parte inferior con el hueco para meter una chaveta para fijar el electrodo superior en una posición determinada:

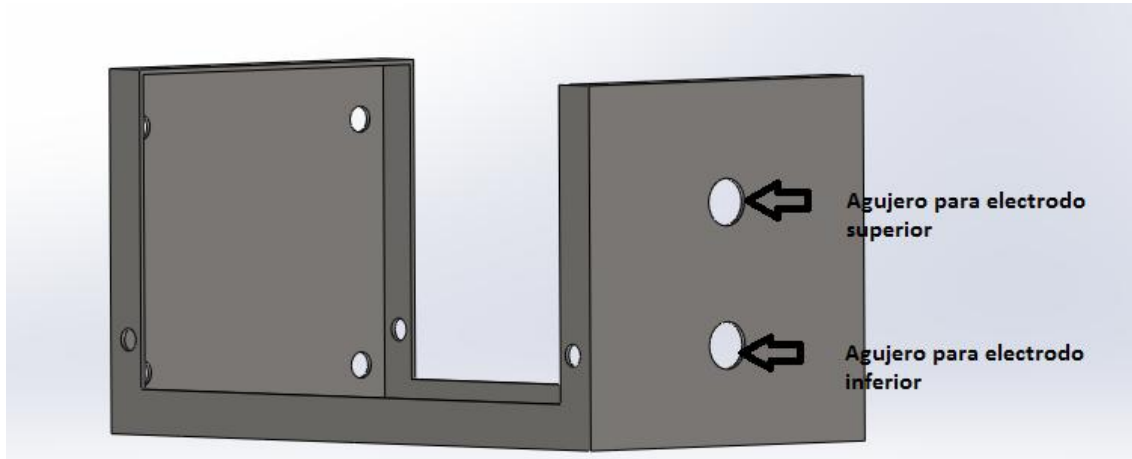


Ilustración 4.52 Agujeros para alojamiento de los electrodos en Solidworks

- Cuatro agujeros en el otro extremo de de la parte superior para atornillar la pieza agarre brida con la caja:

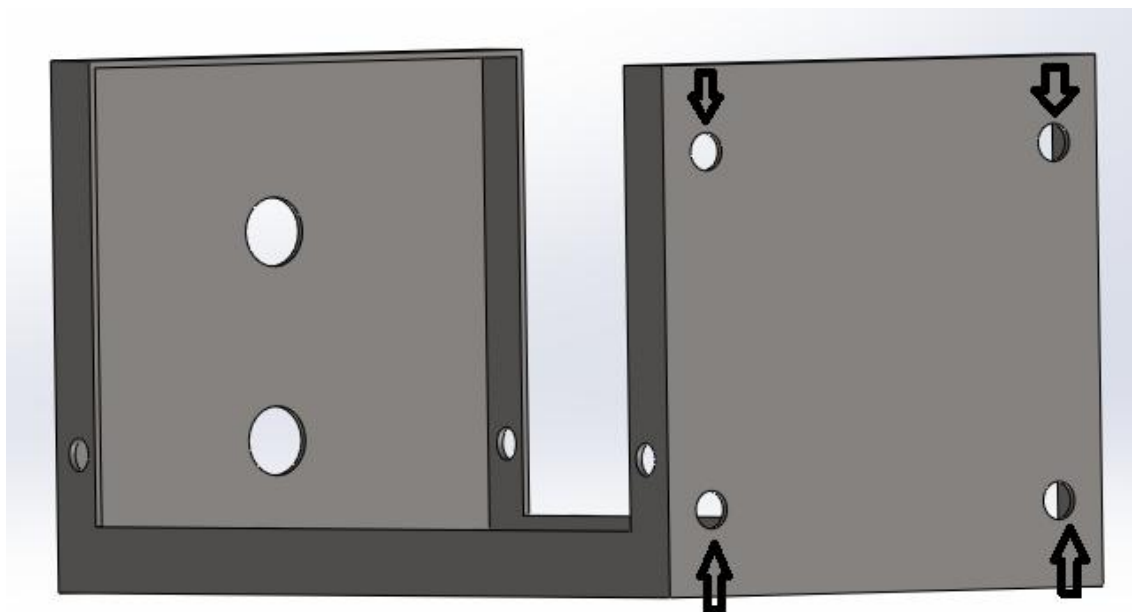


Ilustración 4.53 Agujeros para atornillado de la pieza agarre a brida

- Dos agujeros en la parte lateral de la parte superior de la caja desmontable para la instalación de una electroválvula 5/2:

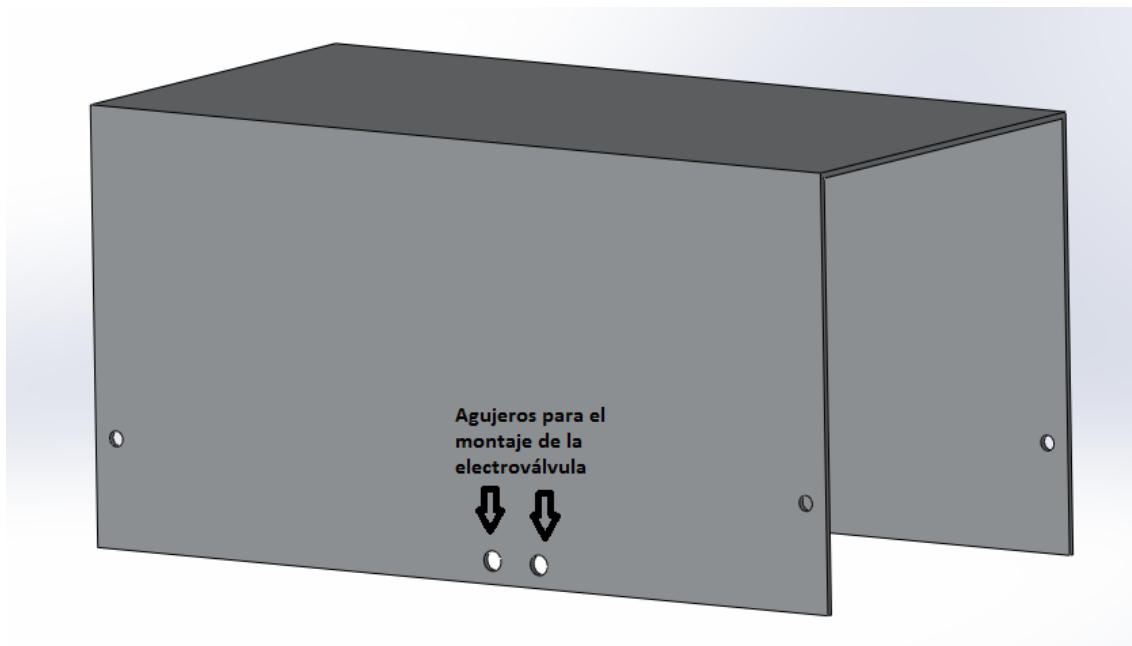


Ilustración 4.54 Agujeros para instalación de la electroválvula 5/2

- Cuatro agujeros para sujetar las escuadras del cilindro neumático y dos agujeros para atornillar el taco que alojará los electrodos, así como dos agujeros de mayor diámetro para las salidas de las conexiones tanto eléctricas como neumáticas situadas en la base de la caja:

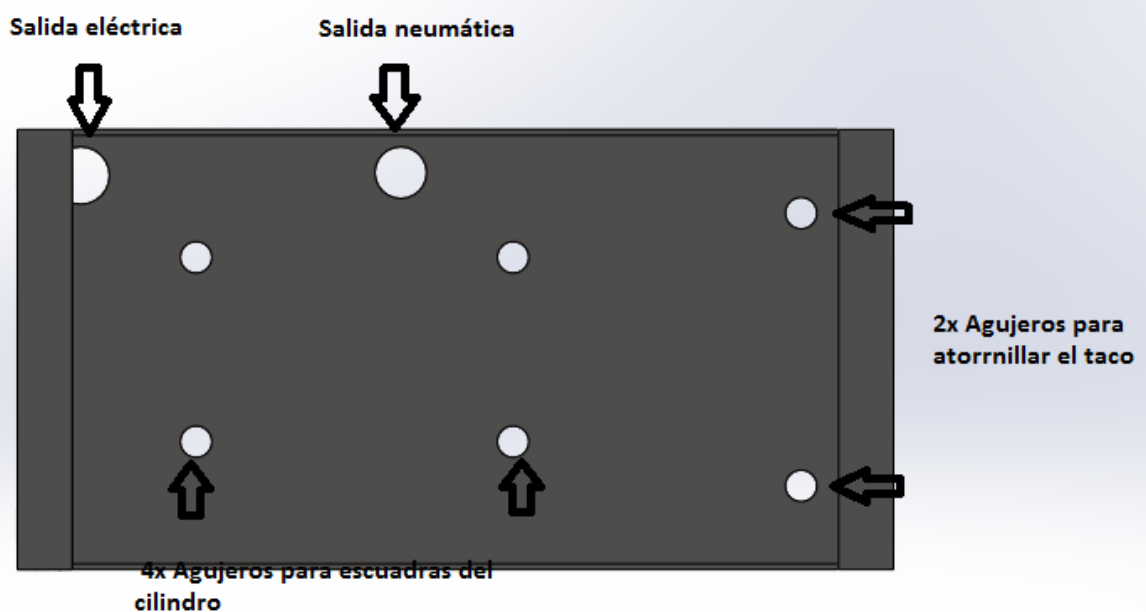


Ilustración 4.55 Agujeros para instalación de los elementos

- Taco: Se trata de una pieza en forma de T de 30 mm de espesor prototipada en ABS atornillada a la pared interna de la caja, lleva dos agujeros en la cara frontal, uno con un chavetero para encajar la chaveta del electrodo superior y el otro para alojar el electrodo inferior y hacer un guiado de este en la apertura y cierre de la pinza. También lleva tres agujeros más, uno superior roscado para introducir el tornillo que va a servir para presionar el electrodo superior para impedir su movimiento longitudinal por el movimiento del robot y los otros dos para su posicionamiento en la caja de aluminio.

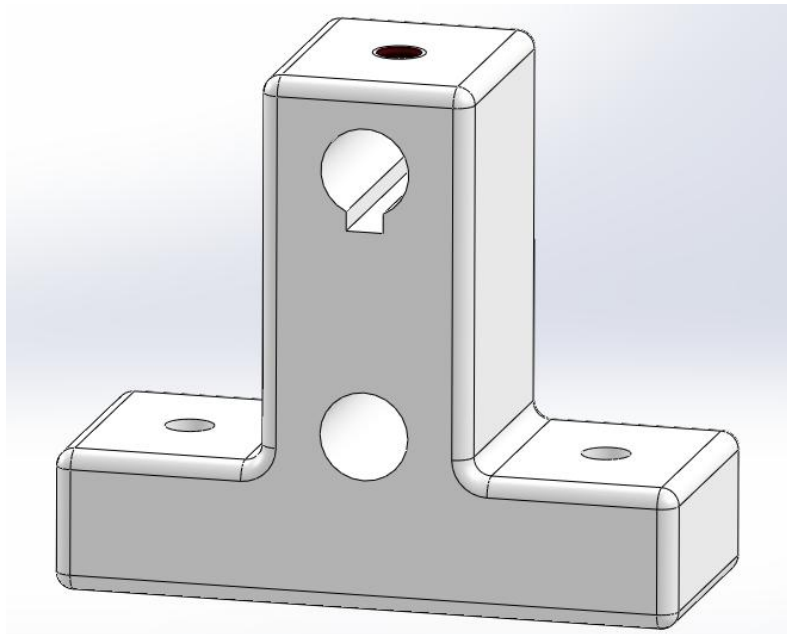


Ilustración 4.56 Pared interna en Solidworks

- Escuadras del cilindro: Se trata de una pareja de escuadras compradas como accesorio del cilindro que sirven para instalarlo en una superficie plana. Llevan dos agujeros en la base para su instalación en una estructura y un agujero más grande en la cara perpendicular para el acople con el cilindro:



Ilustración 4.57 Escuadra para instalación del cilindro





## 5. Diseño

En los siguientes puntos se van a mostrar y explicar los distintos diseños tanto mecánicos, neumáticos como eléctricos que se han propuesto en este proyecto, también se adjuntan los cálculos realizados.

### 5.1 Diseño neumático de la pinza de soldadura por puntos

El esquema neumático de la pinza de soldadura por puntos trata de un cilindro de doble efecto gobernado por una válvula 5/2 monoestable tal y como se muestra a continuación:

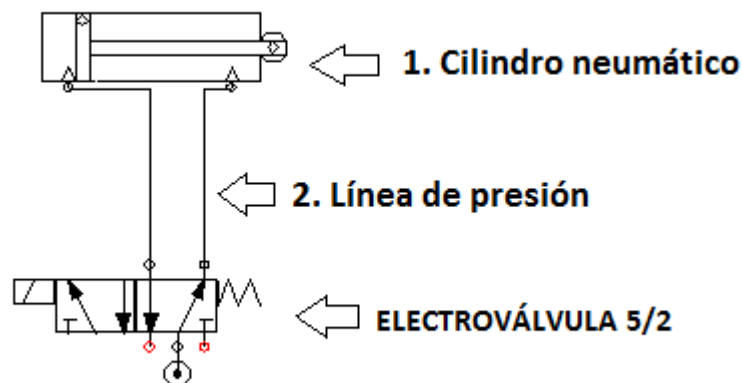


Ilustración 5.1 Esquema neumático de pinza de soldadura por puntos

El primer problema que se plantea es el de comprobar que el diámetro de cilindro preseleccionado es capaz de desplazar la masa del elemento, así pues se ha preseleccionado un diámetro de 12mm y una carrera de 25mm. Con ello se va a estimar la fuerza necesaria que requiere el sistema para desplazar la carga, la fuerza necesaria en un cilindro de doble efecto se calcula con la siguiente fórmula:

$$F_n = M [g[\sin\phi + (K_r \times \cos\phi) + a]]$$

Donde:

$F_n$ = Fuerza necesaria en N

$M$ = Masa en Kg

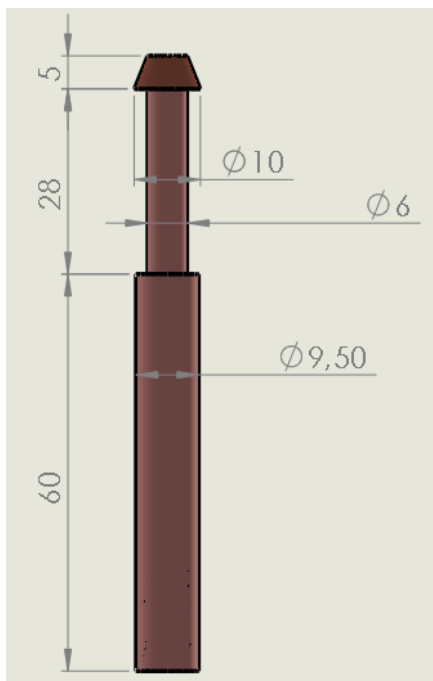
$g$ = Aceleración de la gravedad en  $m/s^2$

$\phi$ = Angulo formado por el eje del actuador y la horizontal

$K_r$ = Coeficiente de rozamiento

$a$ = Aceleración de la masa en  $m/s^2$

Primero se va a calcular la masa del objeto a desplazar, para ello se muestra a continuación una imagen con su forma geométrica en mm. El cálculo se va a hacer considerando tres volúmenes diferentes y luego sumarlos para obtener el total:



El material de su fabricación es poliamida PA2200 de  $\rho = 950 \text{ Kg/m}^3$

El volumen total de la pieza es:

$$V_1 = (\pi \times 0,5 \text{ cm}^2 \times 6 \text{ cm}) = 4,71 \text{ cm}^3$$

$$V_2 = (\pi \times 0,3 \text{ cm}^2 \times 2,8 \text{ cm}) = 0,7916 \text{ cm}^3$$

$$V_3 = (\pi \times 0,5 \text{ cm}^2 \times 0,5) = 0,3926 \text{ cm}^3$$

$$V_T = V_1 + V_2 + V_3 = 5,984 \text{ cm}^3$$

$$\text{Luego: } \rho = M/V_T \rightarrow M = (0,95 \text{ g/cm}^3) \times 5,984 \text{ cm}^3 = \mathbf{5,59 \text{ g}}$$

El cilindro va a trabajar a su velocidad máxima que según la referencia del fabricante es de  $V=1500\text{mm/s}$ , conociendo también la carrera que es  $25\text{mm}$ , hallamos la aceleración:

$$A = (V^2)/2L = (1500\text{mm/s})^2/(2 \times 25\text{mm}) = 45000\text{mm/s}^2 = \mathbf{45\text{m/s}^2}$$

Siendo  $L$ = Carrera del cilindro

Para poder estimar el coeficiente de rozamiento se ha considerado un  $K_r = 0,6$  que es el valor de rozamiento entre la poliamida y el aluminio, el  $\phi$  formado con la horizontal es igual a  $90^\circ$ , ya que la herramienta trabaja horizontalmente, entonces la  $F_n$  es:

$$F_n = 0,00559\text{kg}[9,8\text{m/s}^2[\sin(90^\circ) + (0,6 \times \cos(90^\circ))] + 45\text{m/s}^2] \rightarrow$$

$$\mathbf{F_n = 2,5199N}$$

Es una fuerza muy pequeña, aunque para comprobar que el cilindro preseleccionado es válido se va a calcular la fuerza de avance y de retroceso, la fuerza de avance es:

$$F_a = (\pi \times D^2 \times P) / 40$$

Donde:

$F_a$ = Fuerza de avance en N

$D$ = Diámetro del cilindro

$P$ = Presión de servicio

La presión de servicio de la instalación donde se desarrolla el proyecto es de  $P=7\text{ bar}$ , luego:

$$F_a = [\pi \times (12\text{mm})^2 \times (0,7\text{N/mm}^2)] / 40 = \mathbf{7,91N}$$

La fuerza de retroceso se calcula:

$$F_r = [\pi(D^2 - d^2) \times P] / 40$$

Siendo:

Fr= Fuerza de retroceso en N

D= Diámetro del cilindro

d= Diámetro del vástago

P= Presión de servicio

Entonces:

$$Fr = [\pi (12\text{mm}^2 - 6\text{mm}^2) \times 0,7\text{N/mm}^2] / 40 = \mathbf{5,93N}$$

Como  $Fr$  y  $Fa > Fn \rightarrow 7,91N$  y  $5,93N > 2,5199 N \rightarrow$  El cilindro es **válido**

## 5.2 Características técnicas de los elementos neumáticos de la pinza de soldadura por puntos

A continuación se muestra una tabla con las características técnicas de los elementos y seguidamente una imagen del elemento:

Tabla 5.1 Características técnicas del cilindro neumático

Diámetro (D)	12
Dia. Del vástago	6
Conexiones	M5
Presión de prueba	1,5 Mpa
P. máx de trabajo	1 Mpa
P. mín de trabajo	0,08 Mpa
Tª ambiente y de fluido	menos 20 a 80º
Lubricación	No necesaria
Velocidad máx del émbolo	50 a 1500mm/s
Energía cinética admisible (amortig. Elástica)	0,04 J
Peso	114,6 g
Rosca del vástago	M6



Ilustración 5.2 Cilindro neumático escogido

## DISEÑO Y PROTOTIPADO DE HERRAMIENTAS DIDÁCTICAS PARA ROBOT COLABORATIVO

Tabla 5.2 Características técnicas de la electroválvula 5/2

Fluido	Aire
Rango de presión de trabajo	0,15 a 0,7 Mpa
Tª ambiente y de fluido	menos 10 a 50 ºC
F. máx de trabajo	10 Hz
Lubricación	No necesaria
Resistencia a impactos vibraciones	150/30 (M/s <sup>2</sup> )
Protección	A prueba de polvo
Definición	2 pos. Monoestable
Peso	53g
Tensión de la bobina	24V
Fluctuación de tensión admisible (%)	± 10 %
Consumo	0,35 W

Tabla 5.3 Características de caudal de la electroválvula 5/2

Características de caudal			
C [dm <sup>3</sup> /(s·bar)]	b	Cv	Q [l/min(ANR)]
1.1	0.28	0.29	276



Ilustración 5.3 Electroválvula 5/2

### 5.3 Diseño neumático del bastidor de ventosas

El diseño del esquema neumático del bastidor de ventosas se compone de una electroválvula 3/2 normalmente cerrada para gobernar el circuito, cuando deja pasar aire, el fluido se dirige a un eyector de vacío que por efecto Venturi consigue crear el vacío en las ventosas. También se ha añadido un vacuostato que por una parte mide la presión de vacío en las ventosas y por otra parte actúa de contactor. Se programa a un nivel de vacío concreto en el que el usuario se asegura que con ese nivel de vacío es suficiente para levantar la carga de trabajo y hasta que no se consigue esa presión negativa necesaria, no deja pasar el aire hacia las ventosas evitando así una posible caída del material a manipular, en la siguiente ilustración se muestra el circuito descrito:

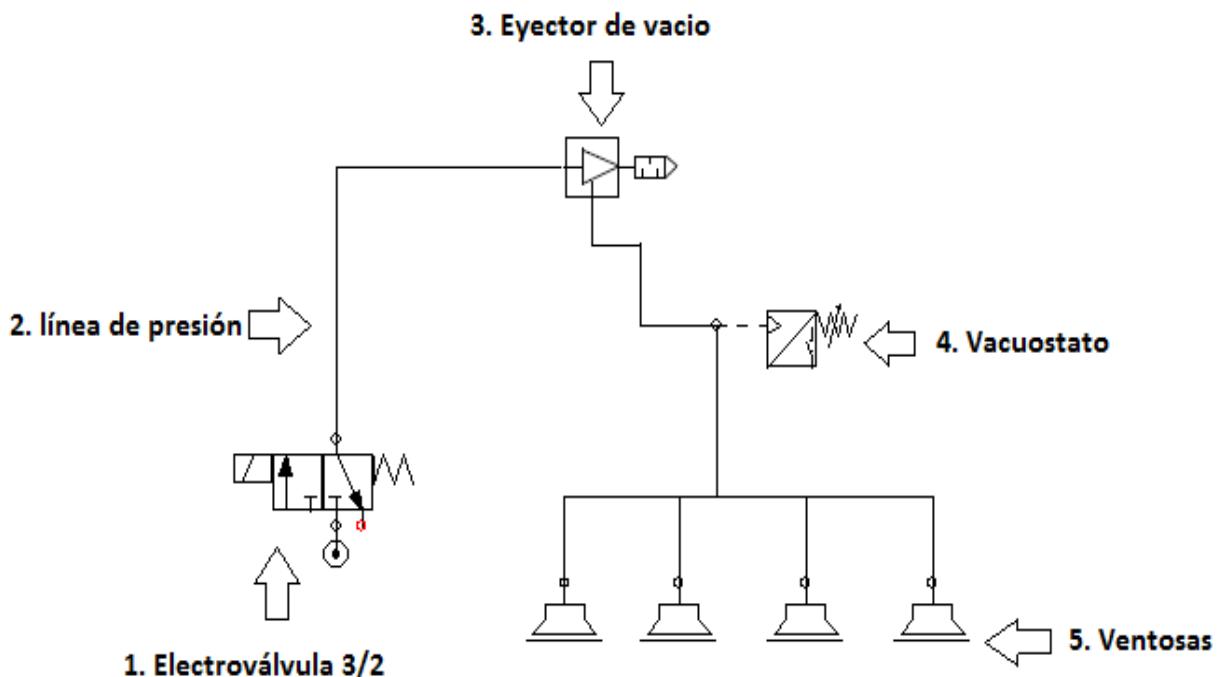


Ilustración 5.4 Esquema neumático del bastidor de ventosas

Los cálculos de los elementos se han realizado de la siguiente manera:

Se quiere levantar una carga máxima de 1 kg, la posibilidad de hacerlo depende de dos variables, una es el nivel de vacío y dos el área de succión. Para ello se ha preseleccionado cuatro ventosas de diámetro de succión de 32mm por coherencia geométrica con las dimensiones de las planchas a levantar y con esto se despeja la presión de vacío mínima necesaria con la siguiente fórmula dada por el fabricante:

$$W = [P \times S \times 0,1 \times (1/T)]$$

Donde:

W= Fuerza de elevación en N

P= Presión de vacío en Kpa

S= Área de succión en cm<sup>2</sup>

T= Coeficiente de seguridad

El área de succión se debe multiplicar por cuatro, ya que se tiene cuatro ventosas, el valor de T viene dado por el fabricante y en este caso es T=4:

- Para elevación horizontal, T=4 o más
- Para elevación vertical, T= 8 o más

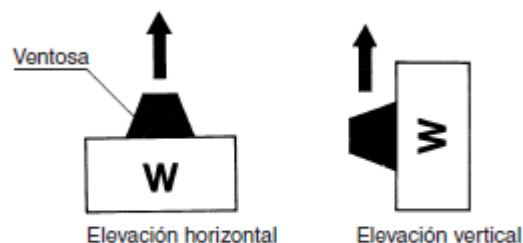


Ilustración 5.5 Alternativas para cálculo de elevación de la carga (SMC, 2015)



Como la carga se levanta horizontalmente, el nivel de vacío necesario es:

$$P = [(10N \times 4) / (4 \times 8,04 \text{ cm}^2 \times 0,1)] = \mathbf{12,43 \text{ Kpa}}$$

Esto quiere decir que necesitamos como mínimo ese nivel de vacío para las ventosas seleccionadas. La empresa suministradora elegida para comprar el material posee dos tipos de eyectores que son de P de vacío máximos de -44Kpa y de -88Kpa. Se ha seleccionado el eyector de -44Kpa con un diámetro de boquilla de 0,7 mm. Dependiendo de estos parámetros el elemento seleccionado tiene unas curvas de escape y caudal diferentes. A continuación se muestra las curvas de escape y caudal del elemento elegido:

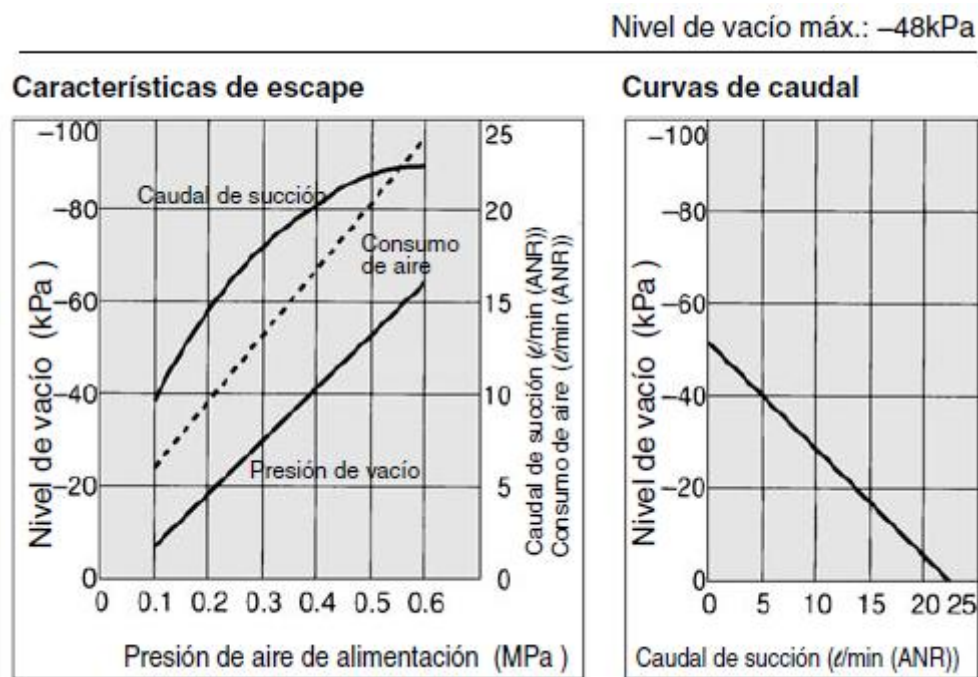


Ilustración 5.6 Características de escape y curvas de caudal del eyector seleccionado (SMC, 2015)

En la gráfica izquierda se puede observar que en el eje de abscisas se tiene la presión de alimentación que se le da al elemento y con este valor se obtiene un valor de nivel de vacío en la función de presión de vacío en el eje de ordenadas. En la parte derecha también se obtiene un caudal de consumo de aire en el escape con la recta discontinua de

consumo de aire y un caudal de succión con la curva de caudal de succión. Por ej.: Si se alimenta el eyector a 4 bar, se obtiene un nivel de vacío casi máximo de -40Kpa, un consumo de aire en el escape de 17L/min y un caudal de succión de 20L/min.

## 5.4 Características técnicas de los elementos neumáticos del bastidor de ventosas

A continuación se muestra una tabla con las características técnicas de los elementos y seguidamente una ilustración del elemento:

Tabla 5.4 Características técnicas de las ventosas

Diámetro de succión	32mm
Material	NBR
Tipo	Fuelle
Conexiones	Rosca macho M6



Ilustración 5.7 Ventosas escogidas

Tabla 5.5 Características técnicas del eyector de vacío

Depresión máxima	- 48 Kpa
Q máx de succión	20 L/min
Consumo de aire	23 L/min
Diám. de boquilla	0,7 mm
Tipo	Con silenciador incorporado
Conexiones	ø6
Peso	28 g



Ilustración 5.8 Eyector de vacío seleccionado

## DISEÑO Y PROTOTIPADO DE HERRAMIENTAS DIDÁCTICAS PARA ROBOT COLABORATIVO

Tabla 5.6 Características técnicas del vacuostato

Rango de presión nominal	0 a - 101 Kpa
Rango de presión de ajuste	10 a -105 Kpa
Sobrepresión	500Kpa
Unidad de ajuste mínimo	0,1 Kpa
Fluido aplicable	Aire, gas no corrosivo, no inflamable
Tensión de alimentación	12 a 24 DC
Consumo	40 mA o menos
Corriente de carga máxima	80 mA
Máxima tensión aplicada	28 V en salida NPN
Tensión residual	1 V o menos
Tiempo de respuesta	2,5 ms o menos
Repetibilidad	± 0,2 %
Salida	Conector abierto NPN 2 salidas
Display	4 dígitos
Rango de Tª de trabajo	0 a 50 °C
Rango de humedad de trabajo	35 A 85% RH
Resistencia a vibraciones	20 M/s^2
Resistencia a impactos	100 M/s^2



Ilustración 5.9 Vacuostato seleccionado

Tabla 5.7 Características técnicas de la electroválvula 3/2

Actuación	N.C
Rango de presión de trabajo	0,15 A 7 Mpa
Tª ambiente y de fluido	menos 10 a 50 °C
Tiempo de respuesta a 0,5 Mpa	15 ms
F. máx de trabajo	10 Hz
Lubricación	No necesaria
Resistencia a impactos/vibraciones	150/30 (M/s <sup>2</sup> )
Protección	A prueba de polvo
Tensión de la bobina	24 V
Consumo	0,35 W
Conexiones	M3

Tabla 5.8 Características de caudal (SMC, 2015)

● **Características de caudal**

Serie	Características de caudal			
	C[dm <sup>3</sup> /(s·bar)]	b	Cv	ø[d/min(ANR)]
SYJ300	0.36	0.31	0.089	92



Ilustración 5.10 Electroválvula 3/2 seleccionada

## 5.5 Diseño eléctrico de las herramientas

En el **Anexo 5** de este proyecto se adjunta todos los planos eléctricos que se necesitan para realizar las conexiones de las herramientas así como las modificaciones necesarias de aquellos elementos que han sido comprados.





## 5.6 Diseño mecánico de las herramientas

En el **Anexo 6** de este proyecto se adjunta todos los planos de las piezas fabricadas y prototipadas así como las modificaciones necesarias de aquellos elementos que han sido comprados.



## 6. Prototipado

El proceso de prototipado se ha realizado con dos materiales distintos, en poliamida y en ABS. Las piezas que están visibles o soportan esfuerzos se han prototipado en poliamida ya que es un material más resistente además de más agradable al tacto y a la vista por el contrario este material es el doble de caro que el ABS.

Las piezas que no son visibles en el conjunto o que son de poca importancia técnica como los tapones de los perfiles se han prototipado en ABS. Dicho esto, en este punto se va a explicar los distintos pasos de seguimiento de el prototipado tanto la fabricación en poliamida como en ABS, desde la creación de los archivos necesarios hasta la producción física del las distintas piezas que componen el prototipo final, para ello se han utilizado dos máquinas distintas de prototipado. También se explican otros procesos de fabricación necesarios que se han llevado a cabo.

Para realizar el proceso de prototipado en poliamida, los archivos creados en Solidworks deben pasar por tres programas distintos para que la máquina de prototipado pueda ejecutar las órdenes. Los programas son:

- Magics: Es el programa con el que se distribuyen las piezas en la cubeta de la máquina.
- RP Tools: Es el programa con el que se calibra el grosor de capa por pasada de la máquina.
- PSW: Es el programa con el que se previsualiza todo el trabajo de la máquina, este paso es muy importante ya que se pueden detectar errores de distribución de las piezas.

Para realizar el proceso de prototipado en ABS, los archivos sólo deben pasar por un programa intermedio que es el siguiente:

- HP Designjet D Software Solution: Es el programa con el que se distribuyen las piezas en la matriz de la máquina y a su vez se calibra el grosor de la capa de pasada.

Todos los pasos que se han dado se explican en los siguientes puntos.

## 6.1 Pasos para el proceso de prototipado en poliamida

- Creación de los archivos Stl: Una vez se tiene creado los archivos en Solidworks en ficheros (\*.prt;\*sldprt), hay que pasarlos a ficheros Stl. Este es un formato de archivo informático de diseño asistido por ordenador (CAD) que define geometría de objetos 3D, excluyendo información como color, texturas o propiedades físicas que sí incluyen otros formatos CAD. Utiliza una malla de triángulos cerrada para definir la forma de un objeto. Cuanto más pequeños son estos triángulos, mayor será la resolución del fichero final (R3ALD Innovation for real 3D prints, 2015).

Esto se hace guardando la pieza creada con las opciones que señalan la siguiente ilustración, exportar como binario, desviación a más o menos tres cuartos de la barra y la unidad en mm o en la medida en la que se haya realizado el modelado en Solidworks.

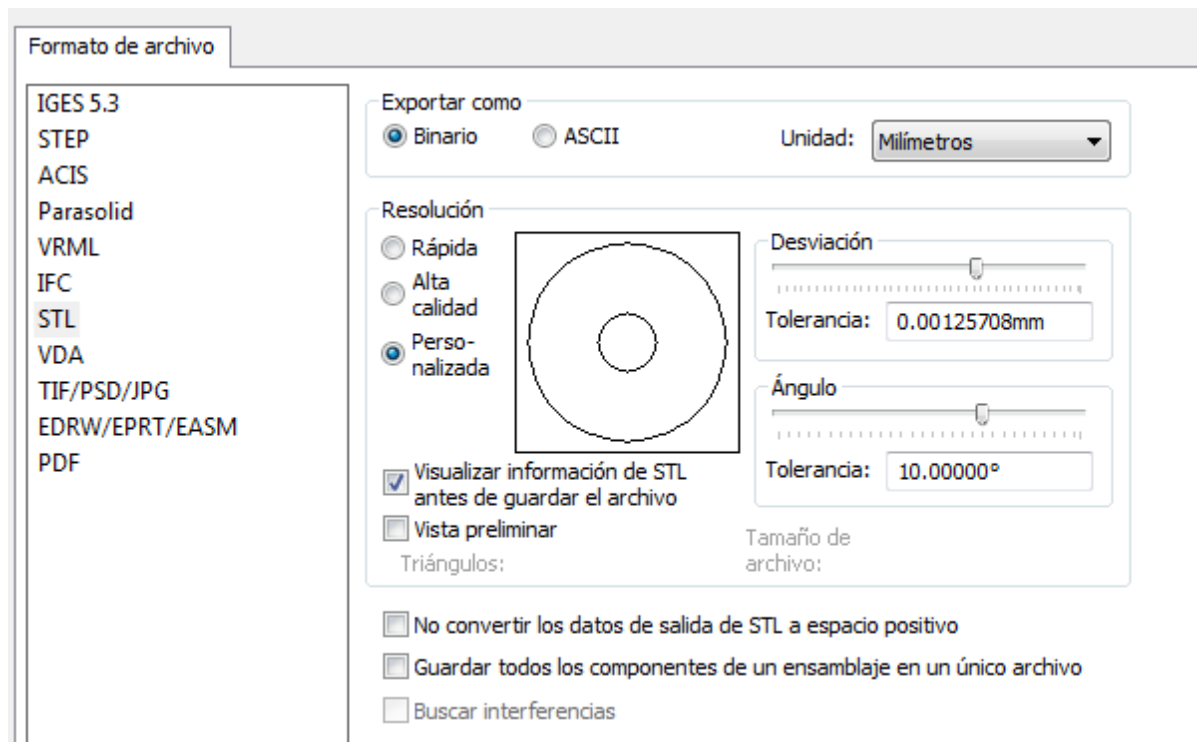


Ilustración 6.1 Creación del archivo Stl

- Exportación de los Stl al programa Magics: En este programa se visualiza la cubeta virtual, en ella se deben colocar las piezas de manera que no haya ningún tipo de contacto físico entre ellas ya que de no ser así las piezas quedarían soldadas entre sí echando a perder toda la cubeta. La altura máxima a la que se colocan las piezas es un factor importante en este paso porque señala el número de horas que va a estar trabajando la máquina, a más altura más tiempo de trabajo, por lo tanto, se debe optimizar el espacio en la medida de lo posible para ahorrar tanto tiempo como dinero.

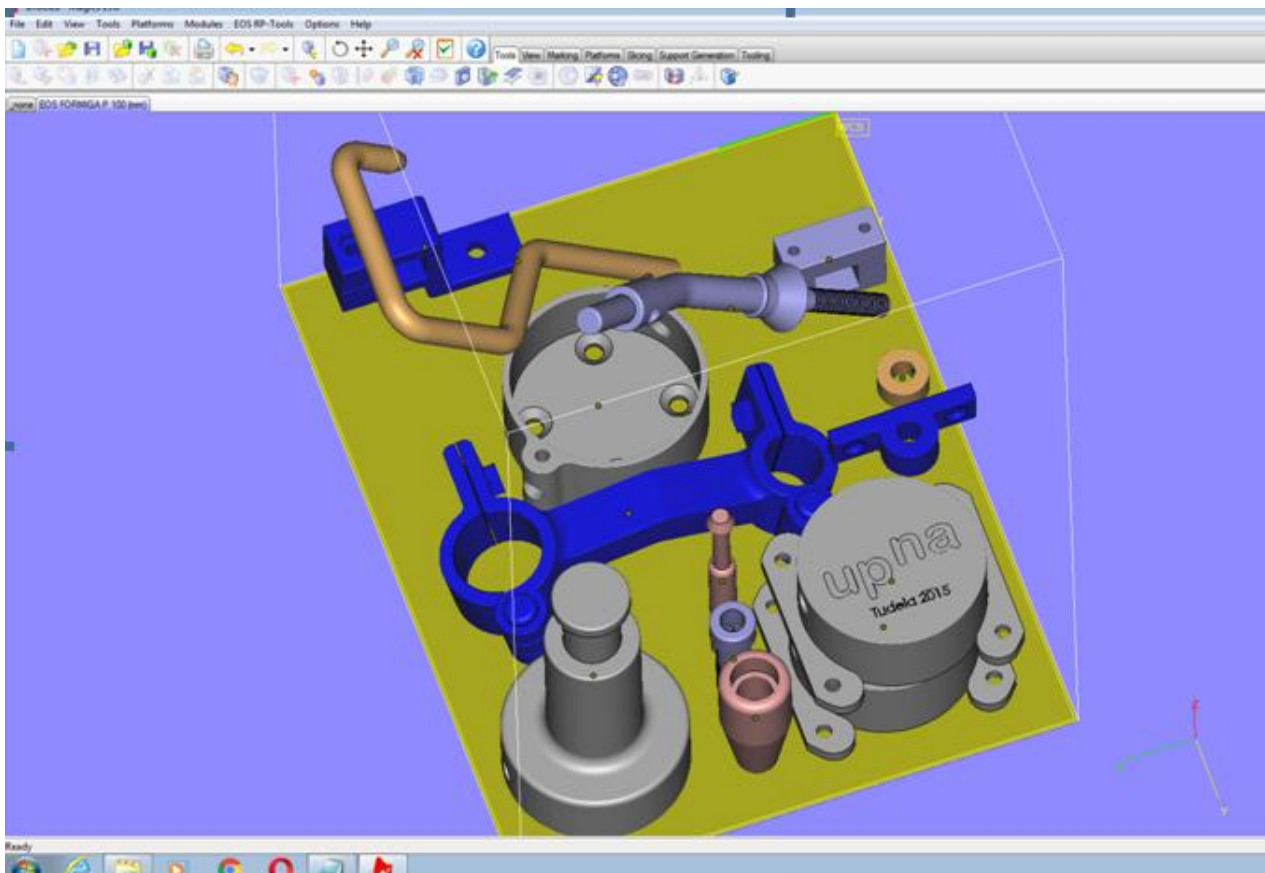


Ilustración 6.2 Distribución de las piezas en la cubeta

- Exportación de los archivos al RP Tools: En este programa se calibra el grosor de la capa por pasada en todas las piezas una por una, en este caso se le ha dado un grosor de capa a todas las piezas de 0,1 mm.

- Exportación de los archivos al PSW: En este programa se observa el proceso de prototipado completo que va a ejecutar la máquina en donde hay una barra del proceso en la que se puede desplazar manualmente para ver la construcción de las piezas por capas. Esto asegura que bajo ninguna circunstancia hay contacto físico entre las piezas.

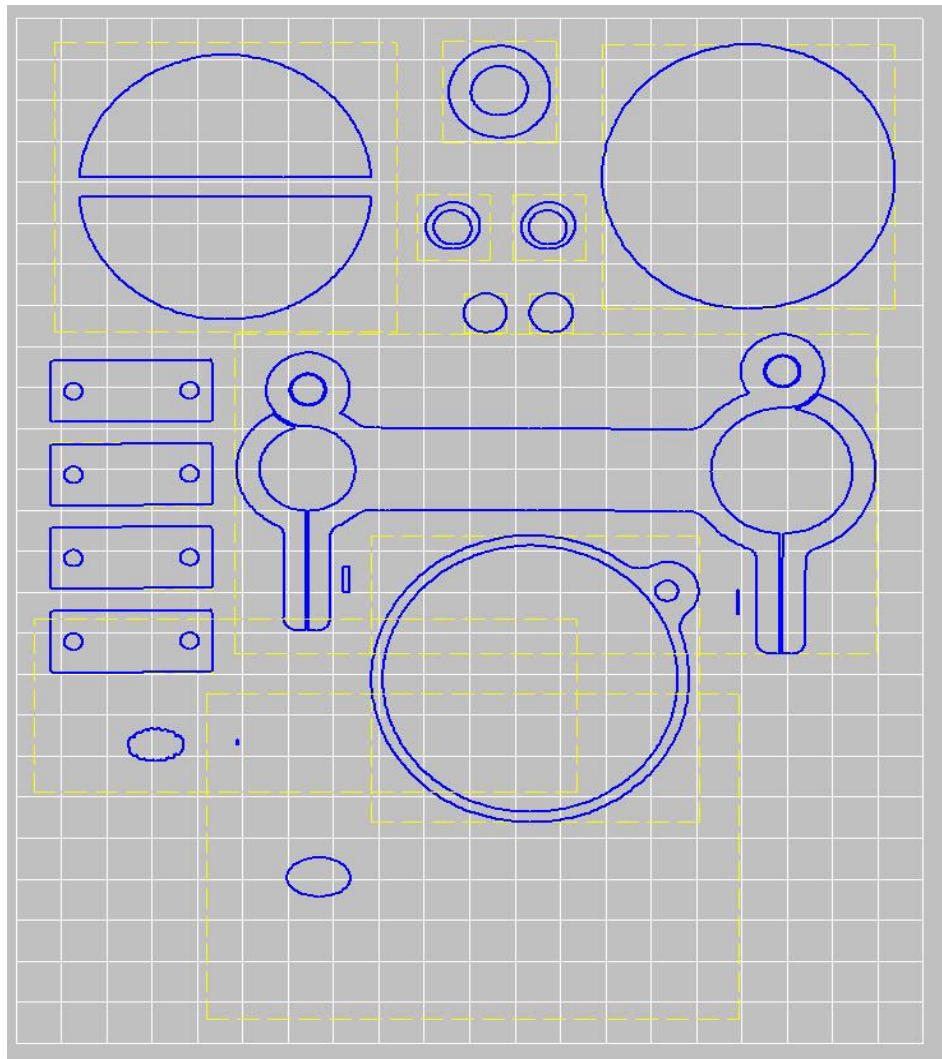


Ilustración 6.3 Visualización del proceso de trabajo de la máquina

Por último, se envía los datos a la prototipadora para que empiece a trabajar. La prototipadora utilizada es la que se muestra a continuación:



Ilustración 6.4 Máquina de prototipado en poliamida

Esta máquina posee una pantalla táctil situada en la parte derecha en la que se observa tiempo estimado de trabajo total, que va a ser de 10 horas y 27 minutos con un total de 1087 pasadas o capas.





Ilustración 6.5 Pantalla táctil de la máquina de prototipado



## 6.2 Resultado final del proceso de prototipado en poliamida

Una vez ha transcurrido el tiempo de trabajo de la máquina, las piezas salen de la cubeta cubiertas por el polvo de la poliamida. A continuación se muestra una ilustración con las piezas recién sacadas de la cubeta:



Ilustración 6.6 Piezas prototipadas recién salidas de la cubeta

Para poder usar las piezas prototipadas se deben de separar y limpiar adecuadamente, para ello se separan y se hacen una primera limpieza manualmente para seguidamente limpiarlas en una máquina estanca de soplado, ya que el polvo de la poliamida es tóxico para nuestro organismo:



Ilustración 6.7 Separación de piezas y primer proceso de limpieza manual

Para la eliminación total del polvo de todas las piezas, se han introducido en una célula estanca de soplado en la que posee dos orificios que cubren hasta el codo para meter los brazos y manipular las piezas dentro de la máquina. Esta cabina cuenta con dos salidas de aire comprimido, una con mayor caudal de que la otra. Con la de mayor caudal se elimina la gran parte del polvo de la poliamida y con la de menor se despejan los agujeros o los agujeros interiores que pudieran llevar las piezas. A continuación se muestra una imagen de la cabina de soplado:



Ilustración 6.8 Cabina estanca de soplado

Después de la limpieza las piezas quedan operativas tal y como se muestra en la siguiente ilustración:



Ilustración 6.9 Resultado final del prototipado en poliamida



### 6.3 Pasos para el proceso de prototipado en ABS

- Exportación de los archivos de CAD al programa HP: Este es el programa necesario previo para el prototipado en ABS con el cual se distribuyen las piezas a prototipar en la matriz de la máquina y se calibra el grosor de la capa por pasada.

En este caso las piezas prototipadas en ABS eran dos clases de piezas distintas con un total de cinco piezas en total. La distribución en la matriz se ha realizado de la siguiente manera:

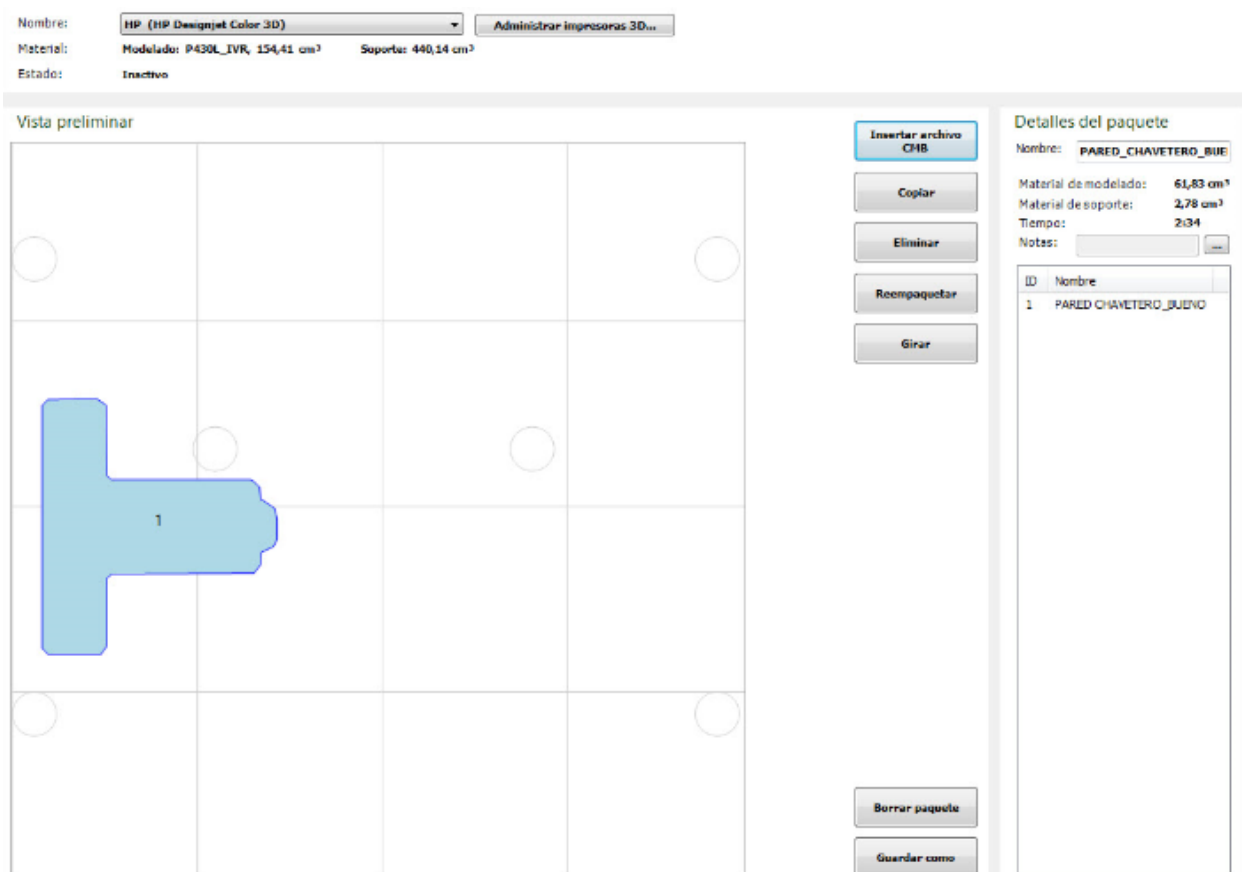


Ilustración 6.10 Distribución de las piezas en la matriz

## DISEÑO Y PROTOTIPADO DE HERRAMIENTAS DIDÁCTICAS PARA ROBOT COLABORATIVO

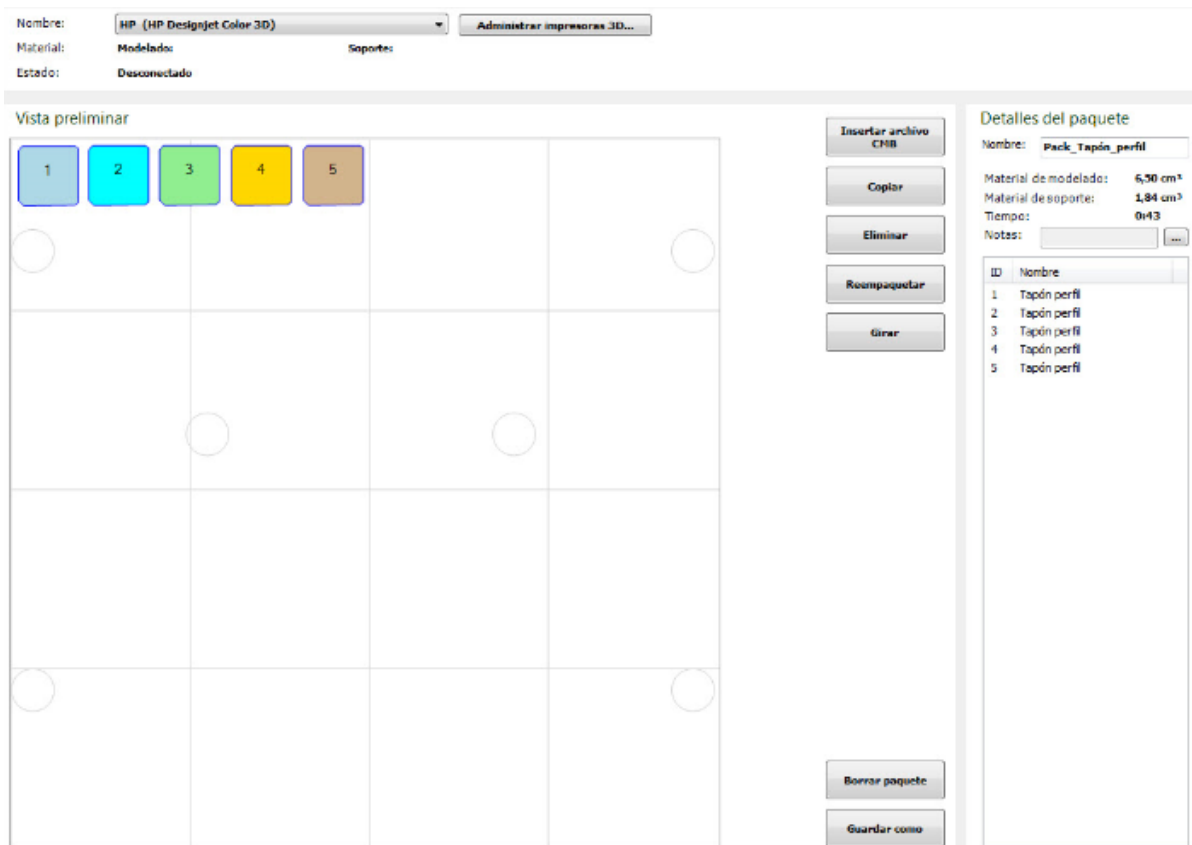


Ilustración 6.11 Distribución de las piezas en la matriz 2

Acto seguido se señala el grosor de la capa, en este caso se ha elegido un grosor de 0,1 mm por capa:



## DISEÑO Y PROTOTIPADO DE HERRAMIENTAS DIDÁCTICAS PARA ROBOT COLABORATIVO

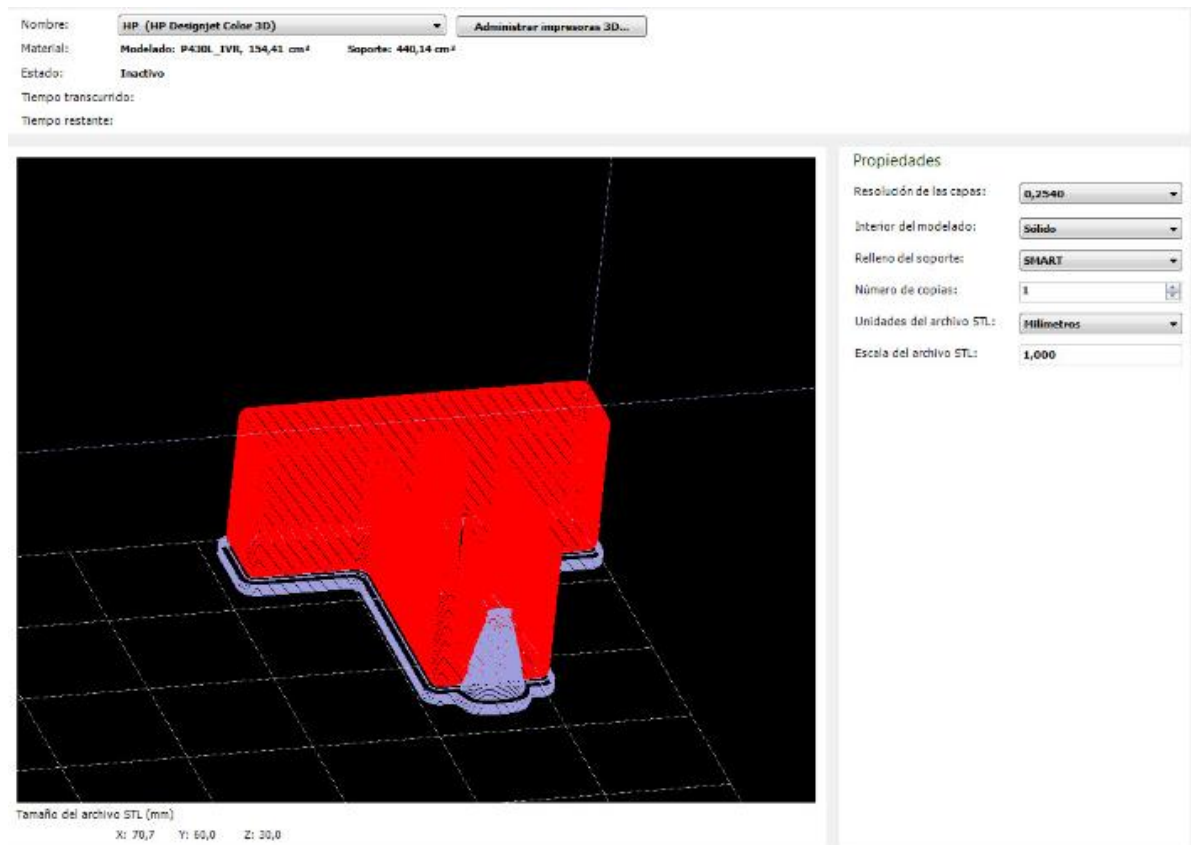


Ilustración 6.12 Calibración del grosor de capa

Cuando se tienen estos dos pasos anteriores listos, se mandan los archivos a la prototipadora 3d. Esta prototipadora se diferencia de la anterior en que no es necesario un soplado posterior de las piezas, además como se ve en la figura anterior, la máquina genera una base (en color morado) para que las piezas no queden pegadas a la matriz y poder retirarla de una manera fácil con la mano. El tiempo estimado de trabajo de la máquina es de 2 horas y 22 minutos. La máquina de prototipado en ABS es la que se muestra a continuación:



Ilustración 6.13 Prototipadora 3d de ABS

## 6.4 Resultado final del proceso de prototipado en ABS

Una vez ha transcurrido el tiempo de trabajo de la máquina, las piezas salen de la matriz y se retiran con la mano de la matriz con la base que ha creado la máquina. A continuación se muestra una ilustración con una de las piezas recién sacadas de la prototipadora 3D:

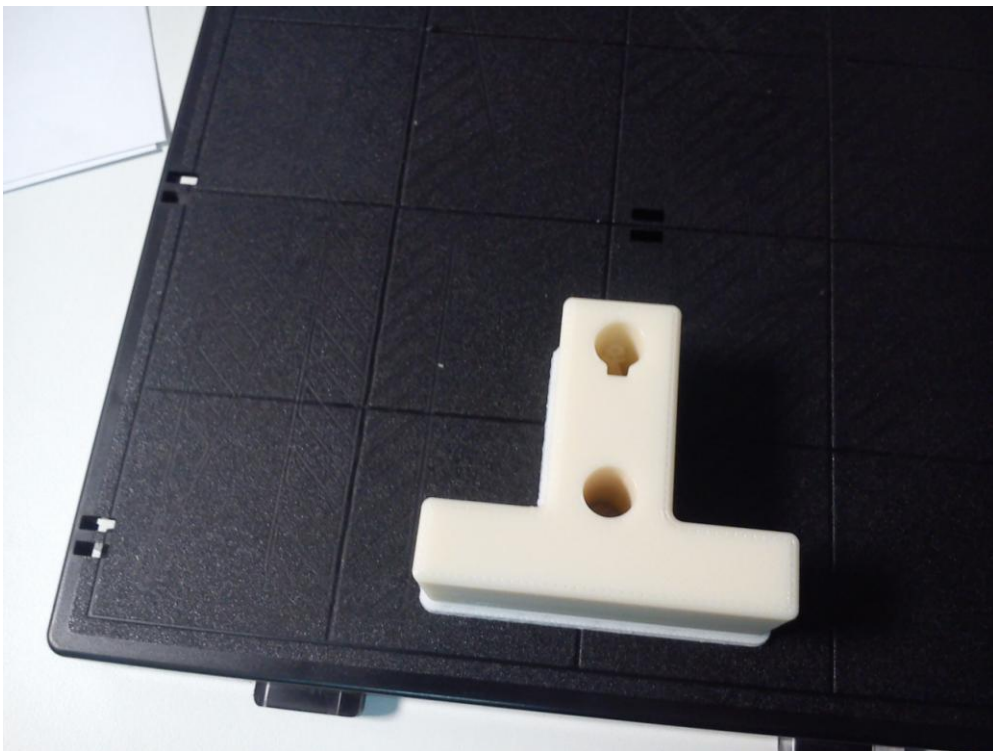


Ilustración 6.14 Pieza prototipada en ABS lista para retirar de la matriz

Las piezas que han sido prototipadas en ABS son el taco que permite sujetar los electrodos en la herramienta de pinza de soldadura por puntos y los tapones de los perfiles estructurales en la herramienta de bastidor de ventosas.



## 6.5 Otros procesos de fabricación

En este punto se va a explicar los procesos que se han seguido para hacer las piezas necesarias que no han sido prototipadas. Estas piezas pertenecen a la herramienta de bastidor de ventosas y son las siguientes:

- Placa de base
- Pletina de sujeción

La primera pieza está fabricada en plancha de metacrilato de 5mm de espesor, lo primero que se hizo fue cortarla a la medida que es 200x200 mm y situarla en la máquina que va a realizarle todos los agujeros necesarios para la sujeción de todos los elementos del bastidor de ventosas. Esta máquina es una cortadora por laser en la que cogiendo el archivo creado en Solidworks, se exporta al programa Autocad en 2d en donde la máquina coja todas las coordenadas de la posición de todos los agujeros y después se ejecuta quedando de la siguiente manera:

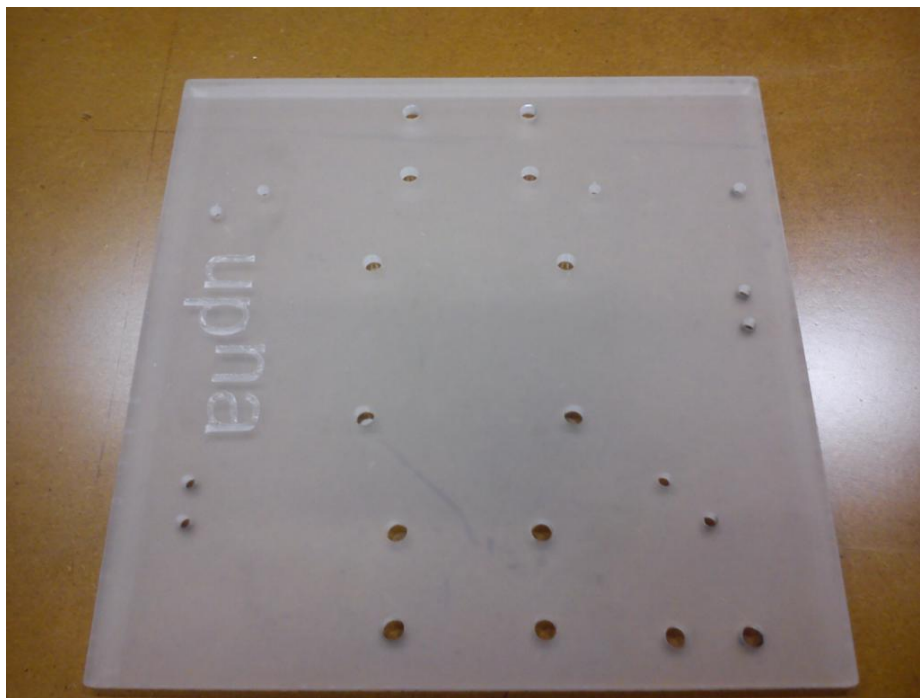


Ilustración 6.15 Placa de base después del corte

Como se ve en la anterior ilustración, la máquina consigue un alto grado de exactitud.

La segunda pieza está fabricada en plancha de policarbonato de 2mm de espesor. El proceso es exactamente el mismo que el de la pieza anterior quedando de la siguiente manera:

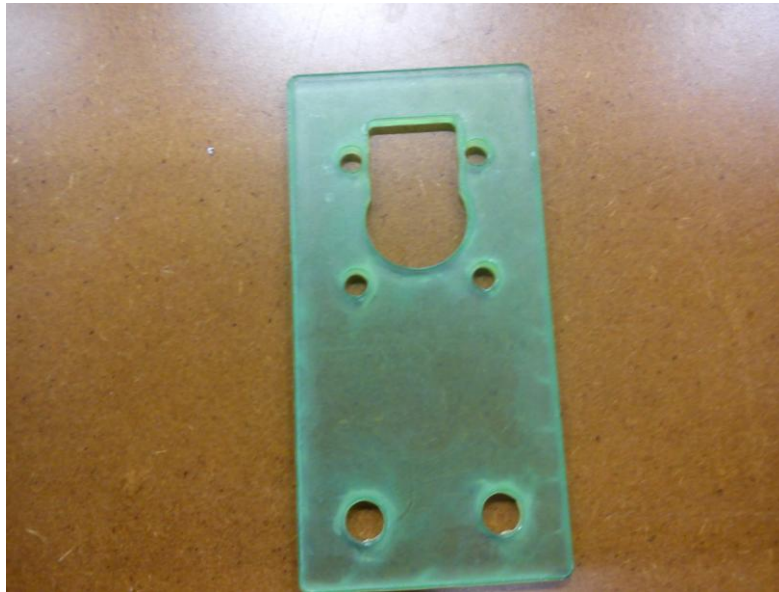


Ilustración 6.16 Pletina de sujeción

Después de este proceso, se le practicó un doblado a 90° mediante la aplicación de calor con un decapador y después se le retiró el plástico protector quedando como se ve en la siguiente ilustración:

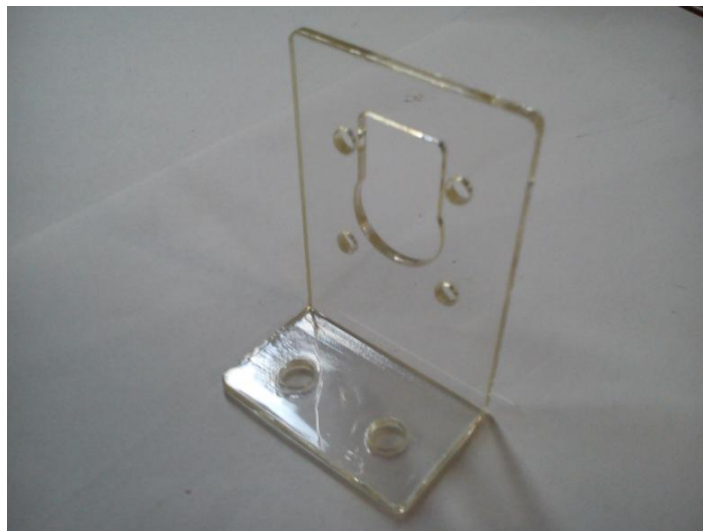


Ilustración 6.17 Pletina doblada

## **7. Comprobación de las especificaciones**

Como se ha podido ver en el apartado 2 de este proyecto las especificaciones a cumplir son de dos tipos:

- De carácter cuantitativo.
- De carácter cualitativo.

Por ello, en los siguientes puntos se analizan por separado.





## **7.1 Comprobación de las especificaciones de carácter cuantitativo**

Las especificaciones a cumplir eran de cuatro clases:

- Especificación de peso
- Especificación de consumo
- Especificaciones neumáticas
- Especificaciones dimensionales

En los siguientes puntos se analizan cada una de ellas por separado.

### 7.1.1 Comprobación de la especificación de peso

La primera especificación importante a comprobar es la del peso. Se recuerda que este valor no debe superar los 4kg de peso por los motivos que se dan en el punto 2 de especificaciones, Para ello se ha realizado una tabla de pesos de las distintas herramientas. Los pesos de los elementos neumáticos se han incluido los racores y la tornillería y en los elementos prototipados están incluidos los pesos totales:

Tabla 7.1 Tabla de pesos Bastidor de ventosas

Elemento	Unidades	Herramienta	Peso total ( g )
Electroválvula 3/2	1	Bastidor de ventosas	47,2
Eyector de vacío	1	Bastidor de ventosas	28
Ventosas	4	Bastidor de ventosas	101,2
Placa de base	1	Bastidor de ventosas	233,5
Agarres al perfil	4	Bastidor de ventosas	117,2
Agarres a la ventosa	4	Bastidor de ventosas	109,6
Perfil cuadrado	2	Bastidor de ventosas	376,2
Brida ( con pasador)	1	Bastidor de ventosas	71
Agarre a brida	1	Bastidor de ventosas	110, 4
Pletina	1	Bastidor de ventosas	14,8
Vacuostato	1	Bastidor de ventosas	56,8
<b>TOTAL</b>		<b>Bastidor de ventosas</b>	<b>1171, 4 g</b>

El peso total se queda en **1,1174 Kg**, por lo tanto el bastidor de ventosas cumple con la especificación de peso. Con este resultado, teóricamente se podría levantar con el robot Ur5 hasta un peso de 3,5 Kg sin problema, ya que no se supera los 5 Kg de límite.

## DISEÑO Y PROTOTIPADO DE HERRAMIENTAS DIDÁCTICAS PARA ROBOT COLABORATIVO

Tabla 7.2 Tabla de pesos de la pistola de soldadura

Elemento	Unidades	Herramienta	Peso total (g)
Brida ( con pasador)	1	Pistola de soldadura	71
Módulo estacionario	1	Pistola de soldadura	126,5
Soporte	1	Pistola de soldadura	63,9
Mango ( con diodo y pasador)	1	Pistola de soldadura	93,9
Tubo conductor	1	Pistola de soldadura	16,5
Difusor	1	Pistola de soldadura	3,2
Boquilla	1	Pistola de soldadura	13,1
	<b>TOTAL</b>	<b>Pistola de soldadura</b>	<b>388,1 g</b>

El peso total es de **0,3881 kg**, por lo tanto la herramienta de pistola de soldadura cumple sobradamente la especificación de peso.

Tabla 7.3 Tabla de pesos de la pinza por puntos

Elemento	Unidades	Herramienta	Peso
Electroválvula 5/2	1	Pinza por puntos	53
Cilindro	1	Pinza por puntos	114,6
Escuadras	2	Pinza por puntos	23
Brida ( con pasador)	1	Pinza por puntos	71
Caja de aluminio	1	Pinza por puntos	167
Electrodo inferior	1	Pinza por puntos	4,3
Electrodo superior	1	Pinza por puntos	9,1
Taco	1	Pinza por puntos	68,5
Agarre a brida		Pinza por puntos	110,4
	<b>TOTAL</b>	<b>Pinza por puntos</b>	<b>620,9 g</b>

El peso total de la herramienta pinza de soldadura por puntos es de **620,9 g**, con lo cual esta herramienta cumple con la especificación de peso holgadamente.

### 7.1.2 Comprobación de la especificación de consumo

La segunda especificación importante a comprobar es la del consumo. Este, no debe superar el valor de 1 A, ya que es lo que puede suministrar el armario de control del robot. Para analizarlo se ha construido una tabla con los consumos de los componentes de las herramientas:

Tabla 7.4 Tabla de consumos

Elemento	Herramienta	Consumo a 24V
Electroválvula 3/2	Bastidor de ventosas	0,35 W
Vacuostato	Bastidor de ventosas	0,96 W
Diodo LED	Pistola de soldadura	0,048 W
Electroválvula 5/2	Pinza por puntos	0,35 W
<b>Consumo total</b>	<b>Bastidor de ventosas</b>	<b>1,31 W</b>
	<b>Pistola de soldadura</b>	<b>0,048 W</b>
	<b>Pinza por puntos</b>	<b>0,35 W</b>

Como lo que puede suministrar el robot es  $P = (24V \cdot 1A) = 24W$ , se puede decir que el consumo de los elementos cumple de sobra con lo especificado.

### 7.1.3 Comprobación de la especificación neumáticas

La tercera especificación a comprobar es la del rango de presión de trabajo. Se recuerda que el compresor de la instalación da una presión máxima de 7 bares, por lo tanto, todos los componentes seleccionados deben trabajar sin problemas en un rango de 0 a 7 bares. Para analizarlo se ha realizado una tabla con los rangos de presión de trabajo de los elementos neumáticos de las herramientas:

Tabla 7.5 Tabla de rango de presiones de trabajo

Elemento	Rango de presión de trabajo	Herramienta
Electroválvula 3/2	1,5 bar a los 7 bar	Bastidor de ventosas
Eyector de vacío	De 1 a 6 bar	Bastidor de ventosas
Tubo neumático	8 bar máx a 20°C	Todas
Electroválvula 5/2	1,5 bar a los 7 bar	Pinza de soldadura
Cilindro	0,8 bar a los 10 bar	Pinza de soldadura

Como se puede observar todos los elementos van a trabajar correctamente en el rango de presiones de 0 a 7 bares, por tanto cumple la especificación.

### 7.1.4 Comprobación de la especificación dimensional

Por último, queda comprobar que las herramientas no son voluminosas y son compatibles con el radio de acción del robot. Para justificar esto, se va a dar las dimensiones del conjunto de las herramientas acopladas al robot con ayuda del programa Solidworks. A continuación se dan las dimensiones de la pistola de soldadura:

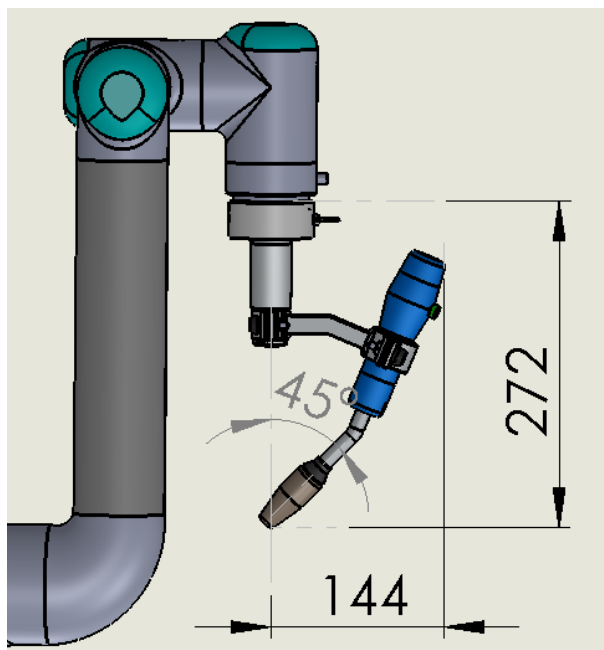


Ilustración 7.1 Dimensiones de la pistola de soldadura acoplada en el robot

Como se puede comprobar, cumple la especificación ya que la herramienta no es muy voluminosa y además tiene un margen de separación entre el cuerpo del robot y la herramienta permitiendo su movimiento en todo su radio de acción.

En la siguiente imagen se dan las dimensiones del bastidor de ventosas:

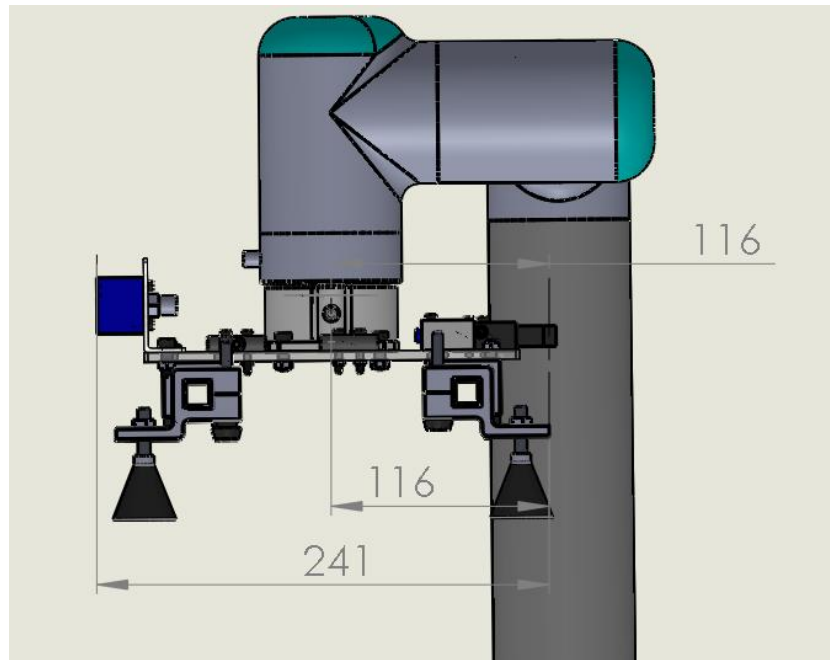


Ilustración 7.2 Dimensiones del bastidor de ventosas acoplado en el robot

En esta herramienta, esta especificación se cumple siempre y cuando nunca se deje la cabeza del robot en posiciones verticales muy cerca del antebrazo del robot ya que pudiera haber una colisión entre el bastidor y el antebrazo. Se debe dejar siempre un margen de al menos 116 mm en esa posición.

A continuación se analiza la última herramienta, la pinza de soldadura por puntos:

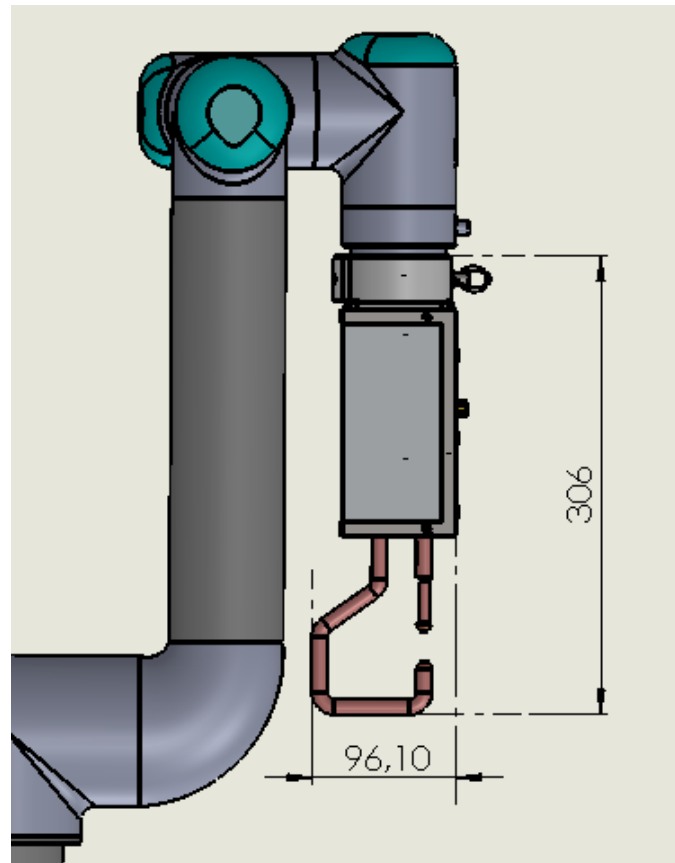


Ilustración 7.3 Dimensiones de la pinza de soldadura por puntos acoplada al robot

La especificación se cumple sin problemas ya que tal y como se ve en la figura anterior la herramienta nunca va a molestar a ningún movimiento del robot, además respeta el radio de acción.





## **7.2 Comprobación de las especificaciones de carácter cualitativo**

Las especificaciones a cumplir eran de siete tipos:

- Especificación de acople y desacople rápido
- Especificación de realismo
- Especificación de fácil visualización de tareas
- Especificación de interés por los centros educativos
- Especificación de facilidad de construcción
- Especificaciones de facilidad de mantenimiento
- Especificación de costes

En los siguientes puntos se analizan cada una de ellas por separado.

### **7.2.1 Especificación de acople y desacople**

Esta especificación se cumple para las tres herramientas ya que con el diseño de brida realizado y mediante el pasador de anilla se consigue quitar la herramienta del robot en solamente 2 segundos y acoplarlas en 4 segundos y todo ello sin la utilización de herramienta.

### **7.2.2 Especificación de realismo**

Esta especificación es necesaria cumplirla en las herramientas que no son totalmente funcionales, es decir, en la pistola de soldadura y en la pinza de soldadura por puntos. En la pistola de soldadura se cumple

puesto que se ha prototipado todos los componentes principales, para probarlo, a continuación se muestra un ejemplo de una pistola de soldadura con mangueras exteriores instalada en un robot y luego la pistola de soldadura creada en este proyecto instalada en el robot Ur5:

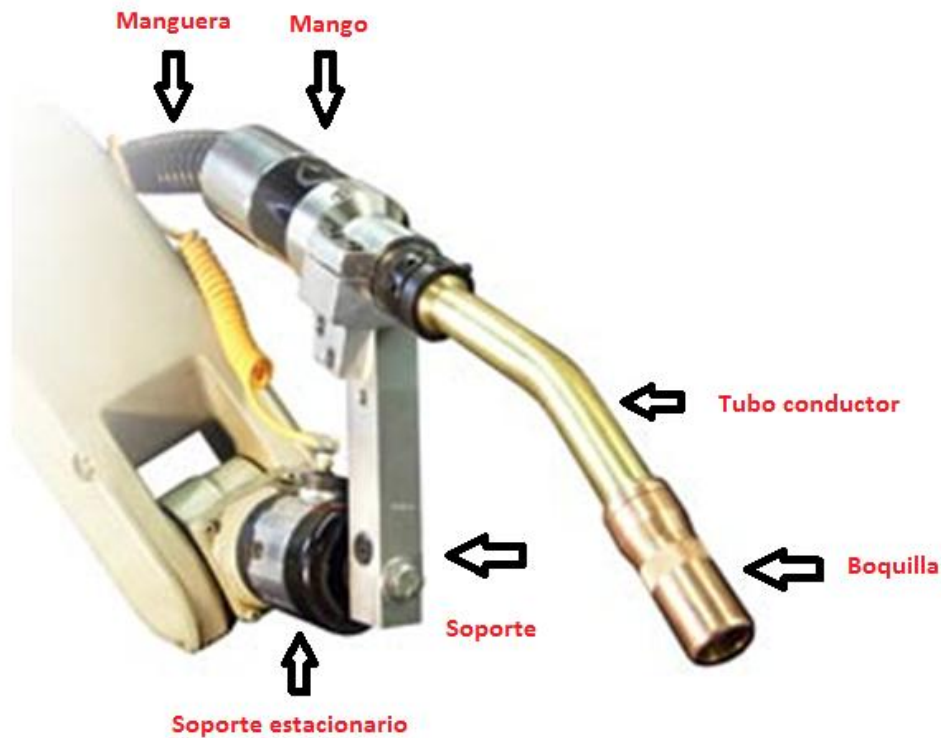


Ilustración 7.4 Componentes de una pistola de soldadura montada en robot

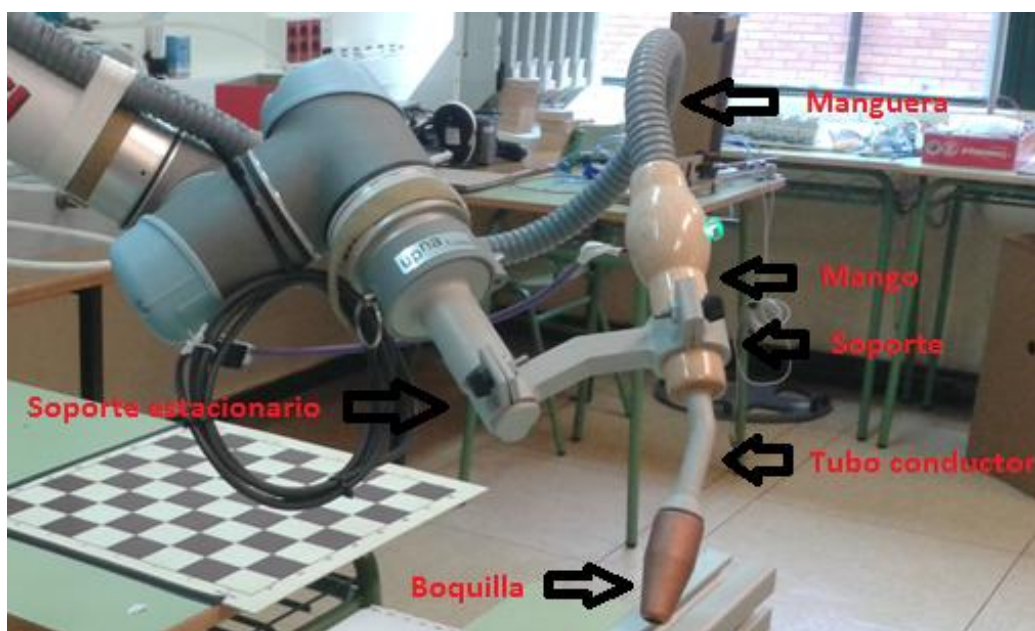


Ilustración 7.5 Componentes del diseño de la pistola de soldadura

En la pinza de soldadura se cumplido cierto grado de realismo, es más difícil puesto que poseen unos sistemas más complejos que la pistola de soldadura, para probarlo, a continuación se muestra un ejemplo de una pinza de soldadura tipo "C" instalada en un robot y luego la pinza de soldadura creada en este proyecto instalada en el robot Ur5:

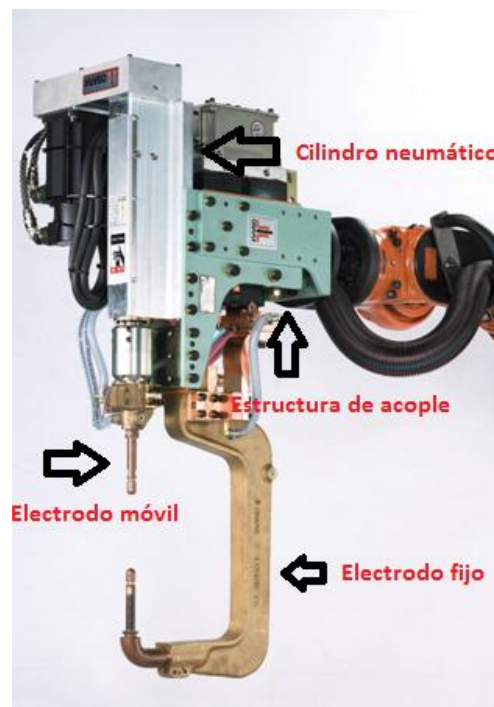


Ilustración 7.6 Pinza de soldadura tipo "C" instalada en un robot KUKA (Robot Works, 2016)

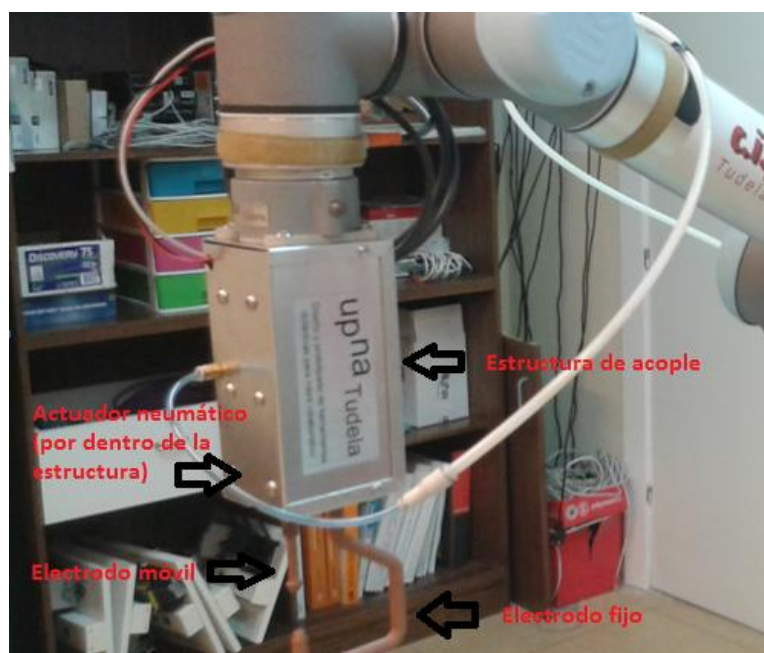


Ilustración 7.7 Pinza de soldadura tipo "C" instalada en el robot UR5

### **7.2.3 Especificación de fácil visualización de tareas**

Esta especificación es necesario cumplirla en la herramienta que no es funcional, es decir, en la pistola de soldadura, para conseguir visualizar la tarea lleva instalado en el mango un piloto luminoso que se enciende cuando la herramienta está realizando un cordón de soldadura. Por lo tanto se puede decir que esta especificación se cumple.

### **7.2.4 Especificación de interés por los centros**

Esta especificación podría cumplirse ya que se ha conseguido un precio bastante asequible, además ya se ha implementado en el CIP E.T.I e Tudela.

### **7.2.5 Especificación de facilidad de montaje**

Esta especificación se cumple y se va a justificar nombrando las herramientas que son necesarias para el montaje de las distintas herramientas. En el bastidor de ventosas las herramientas necesarias son:

- Llave allen y llave fija de 2 y 6 respectivamente para el montaje de los elementos que poseen las cabezas de los tornillos y las tuercas hexagonales M3.
- Llave allen y llave fija de 4 y 8 respectivamente para el montaje de los elementos que poseen las cabezas de los tornillos y las tuercas hexagonales M5.
- Llave fija de 6 para el apriete de la contratuerca de las ventosas.

En la herramienta de pinza de soldadura por puntos:

- Llave allen de 2 para el montaje de la electroválvula 5/2.
- Llave allen y llave fija de 4 y 8 respectivamente para el montaje del cilindro y el taco.

- Martillo para el montaje de la chaveta que restringe el movimiento torsional de uno de los electrodos.
- Destornillador de estrella medio para la apertura y cierre de la caja de aluminio.

En la herramienta de pistola de soldadura:

- Martillo para el pasador que ajusta el tubo conductor con el mango.

En resumen, para todo el montaje de todas las herramientas hace falta:

- Un juego de llaves allen.
- Un juego de llaves fijas.
- Un martillo.
- Un destornillador de estrella medio.

#### **7.2.6 Especificación de facilidad de mantenimiento**

El mantenimiento es muy sencillo, cómodo y accesible. El único mantenimiento preventivo que se debe de hacer es:

- Comprobar periódicamente la fuerza que se debe ejercer para insertar las herramientas en la brida del robot mediante el pasador de anilla. Si se detectara que la fuerza es muy pequeña se debe apretar los tornillos sin cabeza que comprimen el pasador.

- Comprobar periódicamente que las ventosas están bien apretadas para asegurar que están colocadas a la misma altura y que hace un vacío correcto.

El mantenimiento correctivo en el caso de que algún elemento neumático dejara de funcionar lo que se debe de hacer es:

- Cortar el suministro eléctrico y la presión de alimentación y comprobar que el aire se ha descargado a la atmósfera.

- Desatornillarlo con la llave adecuada y sustituirlo por uno nuevo de la misma referencia

- Tras la instalación, conectar el suministro eléctrico y de presión al equipo y realizar pruebas de funcionamiento y de fugas para comprobar que el equipo está correctamente instalado.

### **7.2.7 Especificación de costes**

Se ha logrado un precio asequible de 1632,52€ por las tres herramientas. El precio de la pinza de paletizado costó alrededor de 5000€, por lo tanto, el precio de estas tres herramientas es un 32% del total de coste de la pinza, por lo tanto cumple esta especificación.

## 8. Presupuesto

En este apartado se van a dar a conocer los costes totales que suponen la creación de los prototipos de las herramientas que se exponen en este proyecto. El propósito de este presupuesto es proporcionar una documentación de libre acceso a todos los centros formativos en robótica industrial otras entidades o particulares para que puedan fabricar copias precisas de los prototipos. Por este motivo en este presupuesto no aparecen conceptos como beneficio o coste de horas de desarrollo de las herramientas. Los costes se dividen en varios tipos, que son:

- Costes de compra de material.
- Costes de prototipado.
- Otros costes.





## 8.1 Costes de compra de material

Los costes de compra de material se dividen en dos tipos. Los costes del material neumático y eléctrico y los costes de los elementos de unión. A continuación se muestra una tabla con los costes totales de la adquisición del primer tipo en la que se indican los productos utilizados, las referencias de los mismos, la marca comercial y el precio unitario de estos:

Tabla 8.1 Costes de compra de material neumático y eléctrico

ELEMENTO	REF	PRECIO	UNIDADES	MARCA
Cilindro	CD85N12-25-B	34 €	1	SMC
Pareja de escuadras	C85L16B	1 €	1	SMC
Racor (para cilindro)	KQ2L04-M5A	1 €	2	SMC
Electroválvula 5/2	SY3120-5LOU-C4-Q	59,95 €	1	SMC
Racores (para electroválvulas)	KQ2H04-M5A	1 €	3	SMC
Racores (para ventosas)	KQ2LF04-M6A	1 €	4	SMC
Reducción clavija-tubo	KQ2R04-06A	1 €	10	SMC
Ventosas tipo fuelle	ZPT32BN-A6	16,38 €	4	SMC
Eyector de vacío	ZH07BL-06-06	30,75 €	1	SMC
Conector en T (tubo-tubo)	KQ2T04-00A	1 €	2	SMC
Conector en doble T (tubo-tubo)	KQ2TW04-00A	1 €	10	SMC
Electroválvula 3/2	SYJ512-5LOU-M5-Q	50 €	1	SMC
Rollo de 20m de tubo	TU0425BU-20	8,29 €	1	SMC
Vacuostato	ZSE30A-01-P-G	80,90 €	1	SMC
Racor (para vacuostato)	KQ2LF04-01A	1 €	10	SMC
Diodo LED	D-203/C 24DC	2 €	1	Delecsa
Reducción tubo de 6 a tubo de 4	KQ2H04-06A	1 €	10	SMC
Banda	BJ2-012	3,08 €	1	SMC
Adaptador	BJ3-1	2,12 €	1	SMC
Detector magnético	D-A93L	19,42 €	1	SMC
Caja de aluminio (gastos envío inclui.)	1411 MU	18,31 €	1	HAMMOND
Perfil cuadrado hueco	15x15x1,5	4,85 €	1m	-
<b>TOTAL</b>		<b>431,04 €</b>		

El precio asciende a **431,04€**, este es el precio total de todos los elementos funcionales para las tres herramientas.

## DISEÑO Y PROTOTIPADO DE HERRAMIENTAS DIDÁCTICAS PARA ROBOT COLABORATIVO

Los costes de segundo tipo, son los elementos de unión necesarios para la sujeción de todos los elementos nombrados anteriormente. A continuación se muestra una tabla señalando los productos utilizados, la función que cumple cada uno de ellos, las unidades necesarias y el precio unitario de cada uno de ellos separados por las distintas herramientas:

**Tabla 8.2 Costes de los elementos de unión**

		<b>Pistola de soldadura</b>		
Función	Elemento	Características	Unidades	Precio/Unidad
Para mango	Pasador cilíndrico recto	6x30	1	0,13 €
Para agarre de mango	Tornillo cabeza moleteada	M5x0,8x20	2	0,40 €
	Tuerca hexagonal	M5x0,8	2	0,01 €
		<b>Bastidor de ventosas</b>		
Función	Elemento	Características	Unidades	Precio/Unidad
Montaje electroválvula 3/2	Tornillo cabeza allen	M3 x0,4x 25	2	0,17 €
	Tuercas hexagonales	M3 x0,4	2	0,01 €
Montaje eyector	Tornillo cabeza allen	M3x0,5x30	2	0,17 €
	Tuercas hexagonales	M3x0,5	2	0,01 €
Montaje racores	Tornillo cabeza allen	M3x0,5x20	6	0,15 €
	Tuercas hexagonales	M3x0,5	6	0,01 €
Montaje agarres a perfil	Tornillo cabeza allen	M5x0,8x40	8	0,20 €
	Tuercas hexagonales	M5x0,8	8	0,01 €
Agarres a la ventosa	Tornillo cabeza moleteada	M5x0,8x35	4	0,40 €
	Tuercas hexagonales	M5x0,7	4	0,01 €
Agarre del vacuostato	Tornillo cabeza allen	M3X0,5X7	2	0,16 €
		<b>Pinza por puntos</b>		
Función	Elemento	Características	Unidades	Precio/Unidad
Montaje electroválvula 5/2	Tornillo cabeza abombada con allen	M3x0,5x5	2	0,17 €
Montaje escuadras	Tornillo cabeza abombada con allen	M5x0,8x15	4	0,25 €
	Tuercas hexagonales	M5x0,8	4	0,01 €
Fijación rotacional electrodo	Chaveta caras planas paralelas	4x4x16	1	0,26 €
Fijación de electrodo superior	Tornillo cabeza allen	M6X1X15	1	0,18 €
Agarre de la brida	Pasador cilíndrico	8x90	1	0,65 €
Agarre de acople con bastidor	Tornillo cabeza abombada con allen	M5X0,8X15	8	0,15 €
	Tuercas hexagonales	M5X0,8	8	0,01 €
Agarre brida-robot	T. cabeza avellanada con allen	M6X1X10	4	0,21 €
			<b>TOTAL</b>	<b>10,86 €</b>

El precio total de todos los elementos de unión para las distintas herramientas suma un total de **10,86€**. Si se suma los costes de primer tipo con los de segundo tipo el precio total de es de  $431,14€ + 10,86€ =$  **442€**.



## 8.2 Costes de prototipado

Los costes de prototipado son los que se generan al usar la máquina de prototipado. Estos son el grueso de los costes totales, este precio va en función del material utilizado para el prototipado y el volumen de cada una de las piezas, a mayor volumen mayor precio. En este caso se ha prototipado con dos materiales distintos que son la poliamida PA 2200 y en ABS cuyos respectivos precios son 1,7 y 0,9 (€/cm<sup>3</sup>). La poliamida es de una calidad superior al ABS tanto en maquinabilidad como en apariencia pero también su precio se duplica. A continuación se muestra una tabla con la descripción del elemento prototipado, su volumen, las cantidades de piezas necesarias y los precios de los mismos:

Tabla 8.3 Costes de prototipado

ELEMENTO	VOLUMEN (Cm <sup>3</sup> )	PRECIO PA 2200/VOLUMEN (€/cm <sup>3</sup> )	UNIDADES	PRECIO FINAL (€)	HERRAMIENTA
Brida	33,62643	1,7	1	57,16 €	Todas
Módulo estacionario	139,3649	1,7	1	236,92 €	Pistola soldadura
Soporte	63,59849	1,7	1	108,12 €	Pistola soldadura
Tubo conductor	18,05389	1,7	1	30,69 €	Pistola soldadura
Difusor	35,1323	1,7	1	59,72 €	Pistola soldadura
Boquilla	14,24027	1,7	1	24,21 €	Pistola soldadura
Enganche a brida	101,54483	1,7	2	345,25 €	Bastidor y pinza
Electrodo inferior	4,8277	1,7	1	8,21 €	Pinza de soldadura
Electrodo superior	18,03498	1,7	1	30,66 €	Pinza de soldadura
Taco	60,02917	0,9 (ABS)	1	54,026253 €	Pinza de soldadura
Tapón perfil	1,22647	0,9 (ABS)	4	4,415292 €	Bastidor de ventosas
Agarre a la ventosa	18,92213	1,7	4	128,67 €	Bastidor de ventosas
Agarre al perfil	11,31107	1,7	4	76,92 €	Bastidor de ventosas
			<b>TOTAL</b>	<b>1.164,97 €</b>	

El precio del prototipado es de **1167,97€** y corresponde a aquellas piezas que han sido diseñadas en este proyecto, como se observa este precio para la suma de las tres herramientas.



### 8.3 Otros costes

Estos costes engloban las piezas que no han sido prototipadas por la necesidad de fabricarlas en otro tipo de materiales. Las piezas implicadas son:

- Pletina que sujeta el vacuostato
- La placa de base del bastidor de ventosas
- El mango de la pistola de soldadura

A continuación se muestra una tabla con los costes de las dos primeras piezas con sus características:

**Tabla 8.4 Costes de los elementos no prototipados**

ELEMENTO	ESPESOR (mm)	PRECIO/M <sup>2</sup>	CANTIDAD (mm)	UNIDADES	PRECIO FINAL (€)	MATERIAL
Pletina	2	55€/m <sup>2</sup>	0,04 m <sup>2</sup>	1	2,20 €	Policarbonato
Placa de base	5	35€/m <sup>2</sup>	0,028m <sup>2</sup>	1	0,98 €	Metacrilato
				<b>TOTAL</b>	<b>3,18 €</b>	

El precio de estos materiales, suma un total de **3,18€**, aunque no es mucho dinero, después a las dos piezas se le debe practicar los taladros necesarios, tal y como se indican en los planos de fabricación de este proyecto. Además, a la pletina se le debe de aplicar un doblado en caliente manualmente con un decapador.

El mango de la pistola de soldadura se ha fabricado mediante torneado por arranque de viruta, el material seleccionado ha sido madera de fresno, por tanto, su coste se ha calculado mediante los siguientes parámetros:

- El tiempo de trabajo ha sido de 40 min.
- Lo que cobra un tornero oficial de primera es de aprox. 50€/h.

Por lo tanto el coste de fabricación del mango es de:

$$P = 50\text{€/h} * 0,66\text{h} = \mathbf{33,33\text{€}}$$

Finalmente el precio de la suma de las tres piezas es de  $P_f = 33,33 + 3,18 = \mathbf{36,51\text{€}}$



## 8.4 Costes totales

Los costes totales finales del conjunto de las tres herramientas se consiguen con la suma de las tres clases de costes anteriores. A continuación se muestra una tabla con los costes totales desglosados, además de los atribuidos a cada herramienta:

Tabla 8.5 Costes totales

	Todas las herramientas	Pistola de soldadura	Bastidor de ventosas	Pinza de soldadura por puntos
Costes de compra de material	431,04 €	2,80 €	273,63 €	155,47 €
Costes de prototipado	1.164,97 €	457,80 €	422,49 €	283,82 €
Otros costes	36,51 €	33,33 €	3,18 €	0,00 €
<b>TOTAL</b>	<b>1.632,52 €</b>	<b>493,93 €</b>	<b>699,30 €</b>	<b>439,29 €</b>



## 9. Conclusiones

Tras las pruebas realizadas con las herramientas acopladas al robot se ha verificado el correcto funcionamiento de las herramientas, quedando cumplido el propósito expuesto en este proyecto, es decir, van a ayudar a enriquecer el nivel formativo de los usuarios de los módulos formativos sobre robótica industrial por la variedad de las herramientas y las distintas posibilidades de programación. Las conclusiones más importantes obtenidas tras realizar la puesta en marcha de los diseños realizados por el presente Trabajo de Fin de Grado son:

### **Sistema de cambio de herramienta:**

Mecánicamente, mediante el pasador de anilla y el diseño de brida, se ha llegado a la conclusión de que es un sistema seguro, ya que no se ha detectado problema alguno a la hora de ejecutar movimientos con el robot con las herramientas acopladas y con distintas velocidades de movimiento. También es un sistema rápido a la hora de acoplar y desacoplar las herramientas. La conexión neumática y eléctrica es de la misma naturaleza, por tanto se concluye que es un sistema eficaz y eficiente.

### **Bastidor de ventosas:**

Esta herramienta ha realizado sin problemas el trabajo para el que fue diseñada y se ha logrado realizar a un precio reducido. No obstante carece de un sistema que le permita detectar el material, lo que produce una disminución de la flexibilidad a la hora de la programación.

### **Pistola de soldadura:**

Esta herramienta ha cumplido con los objetivos que se planteaban, con un diseño realista y mediante el LED se consigue fácilmente visualizar

la tarea a ejecutar, por el contrario carece de un sistema que permita verificar si los cordones de soldadura estarían correctamente realizados.

**Pinza de soldadura:**

Esta herramienta ha realizado sin problemas el trabajo para el que fue diseñada, además es una herramienta muy rica en cuanto al aprendizaje de programación se refiere, no obstante carece de un sistema que regule la presión ejercida por el cilindro en las chapas para verificar la correcta ejecución de la soldadura.

## Bibliografía

- ABB. (2015). *new.abb.com*. Recuperado el 16 de Julio de 2015, de <http://new.abb.com/products/robotics/es/robots-industriales/irb-52>
- AC grupo distribuidor eléctrico SL. (2015). *www.elmaterialelectrico.com*. Recuperado el 14 de Julio de 2015, de <http://www.elmaterialelectrico.com/1121-contactores-y-reles#>
- AerAtp. (2012). *www.aeratp.com*. Recuperado el 1 de Agosto de 2015
- Águila, R. d. (2015). *www.ramondelaguila.com*. Recuperado el 25 de Agosto de 2015, de [http://dibujo.ramondelaguila.com/?page\\_id=2743#Pernos](http://dibujo.ramondelaguila.com/?page_id=2743#Pernos)
- Al. (2015). *www.aiyellow.com*. Recuperado el 26 de Agosto de 2015, de <http://www.aiyellow.com/pictureGallery.php?c=M5BU-2XWW-JSGU-9XW9&g=184756#ad-image-0>
- Alacer Mas. (2014). *www.alacermas.com*. Recuperado el 26 de Agosto de 2015, de <http://www.alacermas.com/productos.php?gama=1&categoria=1&subcategoria=45&detalle=169>
- Alibaba. (2015). *www.alibaba.com*. Recuperado el 23 de Julio de 2015, de [http://www.alibaba.com/product-detail/Welding-Gun-Robotic-Servo-Gun-\\_111655544.html](http://www.alibaba.com/product-detail/Welding-Gun-Robotic-Servo-Gun-_111655544.html)
- Aliexpress. (2015). *www.aliexpress.com*. Recuperado el 26 de Agosto de 2015, de [http://es.aliexpress.com/promotion/promotion\\_3mm-set-screw-promotion.html](http://es.aliexpress.com/promotion/promotion_3mm-set-screw-promotion.html)
- ASS AUTOMATIONS-SYSTEME. (2014). *ASS AUTOMATIONS-SYSTEME*. Recuperado el 7 de Julio de 2015, de <http://www.ass-automation.com/>
- AZ PNEUMÁTICA. (2010). *www.bastan.es*. Recuperado el 9 de Julio de 2015, de [http://www.bastan.es/pagproductos/neumatica/neumatica\\_electrovalvulas\\_az.htm](http://www.bastan.es/pagproductos/neumatica/neumatica_electrovalvulas_az.htm)
- B&T. (2012). *www.boneham.com*. Recuperado el 26 de Agosto de 2015, de [http://www.boneham.co.uk/shop/product/imperial\\_stainless\\_steel\\_dowel\\_pins](http://www.boneham.co.uk/shop/product/imperial_stainless_steel_dowel_pins)
- Bearcat. (2015). *www.bearcat.es*. Recuperado el 2015 de Julio de 30, de <http://www.bearcat.es/>
- Beyond Industry Groups Ltd. (2015). *www.made-in-china.com*. Recuperado el 26 de Agosto de 2015, de [http://es.made-in-china.com/co\\_beyondfastener/product\\_Hex-Bolt-Construction-Bolt-High-Tensile-Bolt-A193-B7-Bolt-Grade12-9-Bolt-Heavy-Bolt\\_heiryhieg.html](http://es.made-in-china.com/co_beyondfastener/product_Hex-Bolt-Construction-Bolt-High-Tensile-Bolt-A193-B7-Bolt-Grade12-9-Bolt-Heavy-Bolt_heiryhieg.html)
- Bricolaje. (2015). *www.bricolaje-casa.com*. Recuperado el 26 de Agosto de 2015, de <http://bricolaje-casa.com/2012/05/tornillos-con-cabeza-cruciforme.html>
- Briones, M. (9 de Diciembre de 2013). *www.prezi.com*. Recuperado el 22 de Julio de 2015, de <https://prezi.com/jdowwer980oh/soldadura-por-resistencia/>

# DISEÑO Y PROTOTIPADO DE HERRAMIENTAS DIDÁCTICAS PARA ROBOT COLABORATIVO

---

CARRE CAMPS, D. (2000). Barcelona.

Cefesa. (2015). [www.cefesa.com](http://www.cefesa.com). Recuperado el 26 de Agosto de 2015, de <http://www.cefesa.com/products/TORNILLO-HEXAGONAL-1%7B47%7D4-X-7%7B47%7D8%22-HILLMAN.html#.Vd2BHPntmko>

Citiservi. (2015). [www.citiservi.es](http://www.citiservi.es). Recuperado el 26 de Agosto de 2015, de [http://ofertas.citiservi.es/oferta/din-561\\_\\_2270.html](http://ofertas.citiservi.es/oferta/din-561__2270.html)

CLOOS. (2012). [www.coasol.com](http://www.coasol.com). Recuperado el 17 de Julio de 2015, de [http://www.coasol.com/ab\\_cloos04.htm#](http://www.coasol.com/ab_cloos04.htm#)

Cofan. (2014). [www.cofan.es](http://www.cofan.es). Recuperado el 26 de Agosto de 2015, de <http://www.cofan.es/es/detalle-producto/1556/tornillo-con-cuello-cuadrado-bajo-tuerca-hexagonal/>

Comessa. (2014). [www.comessa.com](http://www.comessa.com). Recuperado el 26 de Agosto de 2015, de [http://www.comessa.com.mx/comessa\\_live/productos.php?c=1](http://www.comessa.com.mx/comessa_live/productos.php?c=1)

Conocimiento. (9 de Enero de 2015). [www.slickpalm.com](http://www.slickpalm.com). Recuperado el 20 de Julio de 2015, de <http://www.slickpalm.com/que-es-un-difusor-de-gas/>

DF Machine specialities. (Junio de 2014). [www.dfmachinespecialities.com](http://www.dfmachinespecialities.com). Recuperado el 20 de Julio de 2015, de <http://www.dfmachinespecialities.com/products/robotic-tig-torches/water-cooled-tig-torch>

El club triumph. (2015). [www.elclubtriumph.com](http://www.elclubtriumph.com). Recuperado el 3 de Agosto de 2015, de <http://www.elclubtriumph.com/viewtopic.php?t=72814>

ESAB. (2015). [www.esab.com](http://www.esab.com). Recuperado el 17 de Julio de 2015, de <http://www.esab.es/es/sp/about/>

Etal Brazing. (2015). [www.pinterest.com](http://www.pinterest.com). Recuperado el 29 de Julio de 2015, de <https://www.pinterest.com/etal1/soldadura-por-resistencia/>

Fronius. (2015). [www.fronius.com](http://www.fronius.com). Recuperado el 16 de Julio de 2015, de [http://www.fronius.es/cps/rde/xchg/SID-70C4C777-D2EE57EF/fronius\\_espana/hs.xsl/26\\_5325.htm#.VaelDvk5\\_IU](http://www.fronius.es/cps/rde/xchg/SID-70C4C777-D2EE57EF/fronius_espana/hs.xsl/26_5325.htm#.VaelDvk5_IU)

Garro Home. (2014). [www.chapas-para-techos.com](http://www.chapas-para-techos.com). Recuperado el 26 de Agosto de 2015, de <http://www.chapas-para-techos.com.ar/>

GEM. (2015). [www.resistanceweldingmachinegem.com](http://www.resistanceweldingmachinegem.com). Recuperado el 28 de Julio de 2015, de <http://www.resistanceweldingmachinegem.com/spot/en/welding-guns-for-robots.html>

Google Maps. (2015). [www.google.es](http://www.google.es). Recuperado el 2 de Septiembre de 2015, de <https://www.google.es/maps/place/Colegio+Salesianos+Pamplona/@42.8147592,-1.6366719,15z/data=!4m2!3m1!1s0x0:0xfda5fda8a825914d>

## DISEÑO Y PROTOTIPADO DE HERRAMIENTAS DIDÁCTICAS PARA ROBOT COLABORATIVO

---

hellopro. (7 de Julio de 2015). *hellopro.es*. Recuperado el 2015, de [http://www.hellopro.es/ASS\\_Maschinenbau-848-noprofil-1001259-478-0-1-1-fr-societe.html](http://www.hellopro.es/ASS_Maschinenbau-848-noprofil-1001259-478-0-1-1-fr-societe.html)

Ingemecánica. (2015). *www.ingemecánica.com*. Recuperado el Agosto de 26 de 2015, de <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn31.html>

Inox BCN. (2013). *www.inoxbcn.com*. Recuperado el 26 de Agosto de 2015, de <http://www.inoxbcn.com/tienda/tornillo-iso-7380-seguridad-torxpin-inox-a2-m6x25/>

Jergens Inc. (2014). *www.jergensinc.com*. Recuperado el 26 de Agosto de 2015, de <http://www.jergensinc.com/>

Kono, Y., Kojima, T., Sugawara, H., & Kawai, A. (1996). *Patente nº US 5528011 A*. Japón.

KUKA. (2015). *www.kuka-robotics.com*. Recuperado el 17 de Julio de 2015, de [www.kuka-robotics.com/](http://www.kuka-robotics.com/)

Levinox. (2015). *www.levinox.com*. Recuperado el 26 de Agosto de 2015, de <http://www.levinox.com/es/index.php/component/virtuemart/rosca-metrica/tornillo-mariposa-din-316-detail?Itemid=0>

LORS machinery. (2012). *www.lors.com*. Recuperado el 28 de Julio de 2015, de [http://www.lors.com/lors\\_tecna\\_servo.html](http://www.lors.com/lors_tecna_servo.html)

LORS MACHINERY. (2015). *www.lors.com*. Recuperado el 29 de Julio de 2015, de <http://www.lors.com/>

Luipermon. (9 de Agosto de 2010). *luipermon.wordpress.com*. Recuperado el 13 de Julio de 2015, de <https://luipermon.wordpress.com/2010/08/09/interruptores-magnetotermicos-y-diferenciales/>

Magre, G., Teixido Casas, A., S. A., Bergas Jane, A., & Gabriel, J. (2005). España.

Martin, A. (12 de Enero de 2015). *www.soldaduramaquinariaygas.wordpress.com*. Recuperado el Julio de J de 2015, de <https://soldaduramaquinariaygas.wordpress.com/>

Mecalux logismarket. (2015). *www.logismarket.com*. Recuperado el 2015 de Julio de 13, de <http://www.logismarket.com.ar/patagonia-cnc-machines/robot-de-soldadura/2019400533-1449391185-p.html>

Milco. (2015). *www.milcomfg.com*. Recuperado el 29 de Julio de 2015, de <http://milcomfg.com/resistance-weld-guns/>

MILLER. (2015). *www.millerwelds.com*. Recuperado el 17 de Julio de 2015, de <http://www.millerwelds.com/about/OurCompany.html>

Paramio, J. Á. (Julio de 2009). DISEÑO Y PUESTA EN MARCHA DE UNA CÉLULA DE FABRICACIÓN FLEXIBLE ROBOTIZADA. 2009 . Madrid, Comunidad de Madrid, España.

## DISEÑO Y PROTOTIPADO DE HERRAMIENTAS DIDÁCTICAS PARA ROBOT COLABORATIVO

---

- Piab. (2014). *www.piab.com*. Recuperado el 1 de Agosto de 2015, de <https://www.piab.com/es-ES/applications/solutions/gripping-lifting--holding/>
- Porta, D. (2008). *Patente nº 2 295 734*. España.
- PW. (2015). *www.portablewelders.com*. Recuperado el 28 de Julio de 2015, de <http://www.portablewelders.com/welding-products/robot-welding-guns>
- R3ALD Innovation for real 3D prints. (2015). *www.r3ald.com*. Recuperado el 14 de Diciembre de 2015, de <http://www.r3ald.com/que-es-un-fichero-stl>
- Revistatope. (2010). *www.revistatope.com*. Recuperado el 17 de Julio de 2015, de [http://www.revistatope.com/174\\_art\\_THOMPSON\\_Soldadura.html](http://www.revistatope.com/174_art_THOMPSON_Soldadura.html)
- ROBOT WELDING. (12 de Noviembre de 2001). *www.robot-welding.com*. Recuperado el 28 de Julio de 2015, de [http://www.robot-welding.com/spot\\_welding\\_gun.htm](http://www.robot-welding.com/spot_welding_gun.htm)
- Robot Works. (2016). *www.robots.com*. Recuperado el 20 de Enero de 2016, de <https://www.robots.com/articles/viewing/welding-with-servo-guns>
- Robotmaster. (2008). Recuperado el 31 de Julio de 2015, de [ocw.upc.edu/download.php?file=15012628/40449-3452.pdf](http://ocw.upc.edu/download.php?file=15012628/40449-3452.pdf)
- Rosengren, G., Cass, D., & Dietrich, A. (2012). *www.tolomatic.es*. Recuperado el 23 de Julio de 2015, de <http://www.tolomatic.com/products/electric-linear-motion/servoweld-actuators.aspx>
- SAS AUTOMATION. (2014). *SAS AUTOMATION*. Recuperado el 7 de Julio de 2015, de <https://www.sas-automation.com/en/>
- SCHLATT, W. (., & PLOCHINGER, E. (1996). *Patente nº ES 2 089 674 T3*. Alemania.
- Selco. (2015). *www.selcoweld.com*. Recuperado el 20 de Julio de 2015, de <http://www.selcoweld.com/drupal/?q=es/node/304>
- SMC. (2015). Recuperado el 19 de Noviembre de 2015, de [https://www.smc.eu/portal\\_ssl/WebContent/digital\\_catalog\\_2/jsp/view\\_descriptions.jsp?dc\\_product\\_id=28921](https://www.smc.eu/portal_ssl/WebContent/digital_catalog_2/jsp/view_descriptions.jsp?dc_product_id=28921)
- SMC. (2015). *SMC Corporation*. Recuperado el 27 de Noviembre de 2015, de [https://www.smc.eu/portal\\_ssl/WebContent/digital\\_catalog\\_2/jsp/view\\_subclasses.jsp?dc\\_product\\_id=72780](https://www.smc.eu/portal_ssl/WebContent/digital_catalog_2/jsp/view_subclasses.jsp?dc_product_id=72780)
- SMC. (2015). *www.smc.eu*. Recuperado el 9 de Febrero de 2016, de [https://content2.smcetech.com/pdf/ZSE30A-ISE30A-B\\_ES.pdf](https://content2.smcetech.com/pdf/ZSE30A-ISE30A-B_ES.pdf)
- Tecnum. (2008). *Tecnum*. Recuperado el 8 de Julio de 2015, de <http://www4.tecnun.es/asignaturas/neumatica/araina.pdf>



## DISEÑO Y PROTOTIPADO DE HERRAMIENTAS DIDÁCTICAS PARA ROBOT COLABORATIVO

---

- Tecsolda. (2015). *www.tecsolda.com*. Recuperado el Agosto de 21 de 2015, de <http://www.tecsolda.com/soldadoras/pinzas-de-robot.html>
- Torniper. (2013). *www.torniper.com*. Recuperado el 26 de Agosto de 2015, de <http://www.torniper.com/productos/pernos/86-perno-cabeza-cuadrada>
- Tweco robotics. (Agosto de 2006). *www.tweco.com*. Recuperado el 20 de Julio de 2015
- Umeda, S. (1992). *Patente nº US5157234 A*.
- Universal Robots. (Marzo de 2015). *www.universal-robots.com*. Recuperado el 12 de Agosto de 2015, de <http://www.universal-robots.com/es/productos/robot-ur5/>
- Universal Robots. (2015). *www.universal-robots.com*. Recuperado el 9 de Febrero de 2016, de [http://www.universal-robots.com/media/8698/ur5\\_user\\_manual\\_es.pdf](http://www.universal-robots.com/media/8698/ur5_user_manual_es.pdf)
- Universal Robots. (2015). *www.universal-robots.com*. Recuperado el 9 de Febrero de 2016, de [http://www.universal-robots.com/media/8698/ur5\\_user\\_manual\\_es.pdf](http://www.universal-robots.com/media/8698/ur5_user_manual_es.pdf)
- Universal Robots. (2015). *www.universal-robots.com*. Recuperado el 9 de Febrero de 2016, de [http://www.universal-robots.com/media/8698/ur5\\_user\\_manual\\_es.pdf](http://www.universal-robots.com/media/8698/ur5_user_manual_es.pdf)
- Utilnorm. (2015). *www.utilnorm.com*. Recuperado el 26 de Agosto de 2015, de <http://www.utilnorm.com/00000198640aab305/0000009bbe0a1d429/0000009bbe0ac19a0/index.html>
- Uribe, C. L. (2015). Soldadura G.M.A.W - MIG/MAG. *Metal actual* , 18.
- Wikipedia. (30 de Junio de 2015). *www.wikipedia.es*. Recuperado el 13 de Julio de 2015, de <https://es.wikipedia.org/wiki/Disyuntor>
- WSA. (2015). *www.weldsuppliers.com*. Recuperado el 29 de Julio de 2015, de [http://www.weldsuppliers.com.au/index.php?p=1\\_43](http://www.weldsuppliers.com.au/index.php?p=1_43)
- YASKAWA. (2015). *www.motoman.com*. Recuperado el 23 de Julio de 2015, de <http://www.motoman.com/products/welding/spot.php>
- YASKAWA. (2015). *www.motoman.com*. Recuperado el 5 de Agosto de 2015, de <http://www.motoman.com/products/welding/spot.php>



## 10. Anexo 1, Componentes generales del robot UR5

El robot UR5 de Universal Robots consta de los siguientes componentes principales:

- Armario de control: Es el almacén del conjunto de los elementos que gobiernan el brazo del robot tales como la unidad de E/S digitales, las fuentes de alimentación, placa base, conexiones.... etc. En las siguientes ilustraciones se muestra el armario de control internamente y externamente:



Ilustración 10.1 Armario de control visto externamente (Universal Robots, 2015)

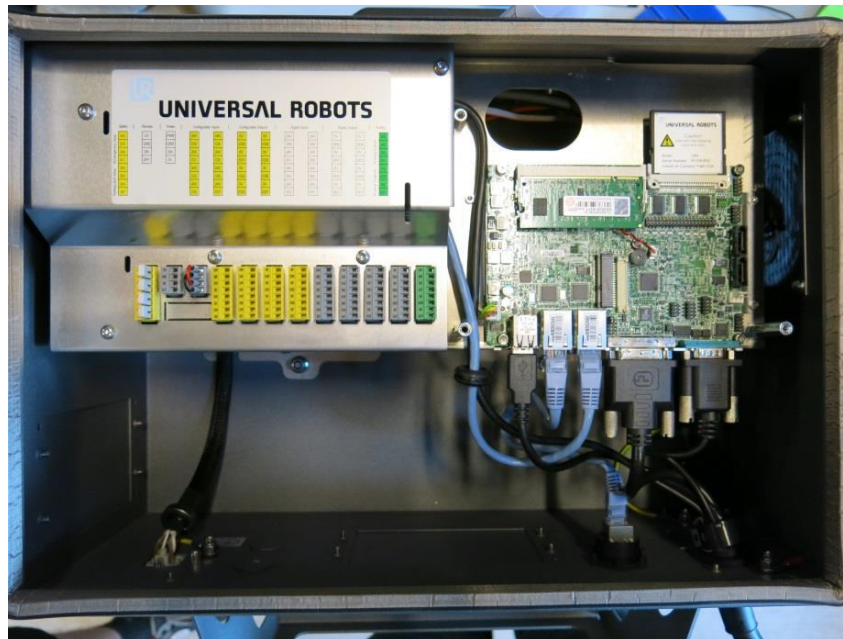


Ilustración 10.2 Armario de control visto internamente (Universal Robots, 2015)

- Brazo robótico: Es un elemento que posee 6 ejes y se encarga de cumplir las órdenes de las trayectorias de los movimientos marcadas por la programación, además de sostener todos los componentes, herramientas, juntas... etc. Las dimensiones del brazo se muestran a continuación:

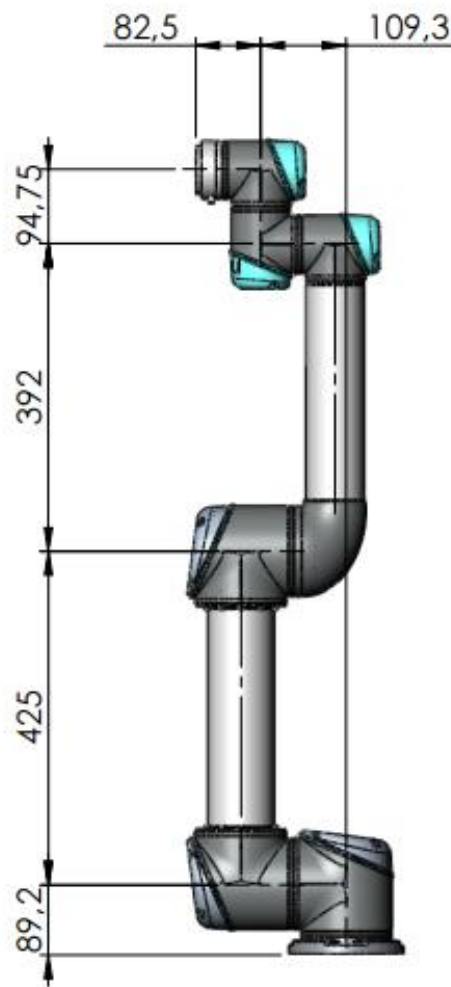


Ilustración 10.3 Dimensiones del brazo (Universal Robots, 2015)

El espacio de trabajo del robot UR5 ocupa 850 mm desde la junta de la base, por eso es importante tener en cuenta el volumen esférico justo encima y debajo de la base del robot. Mover la herramienta cerca de este volumen debe evitarse en lo posible, porque hace que las juntas se muevan rápido mientras que la herramienta se mueva lentamente, lo que hace que el robot trabaje de forma ineficiente (Universal Robots, 2015).

El espacio de trabajo de instalación del robot recomendado por el fabricante es el que se muestra a continuación:

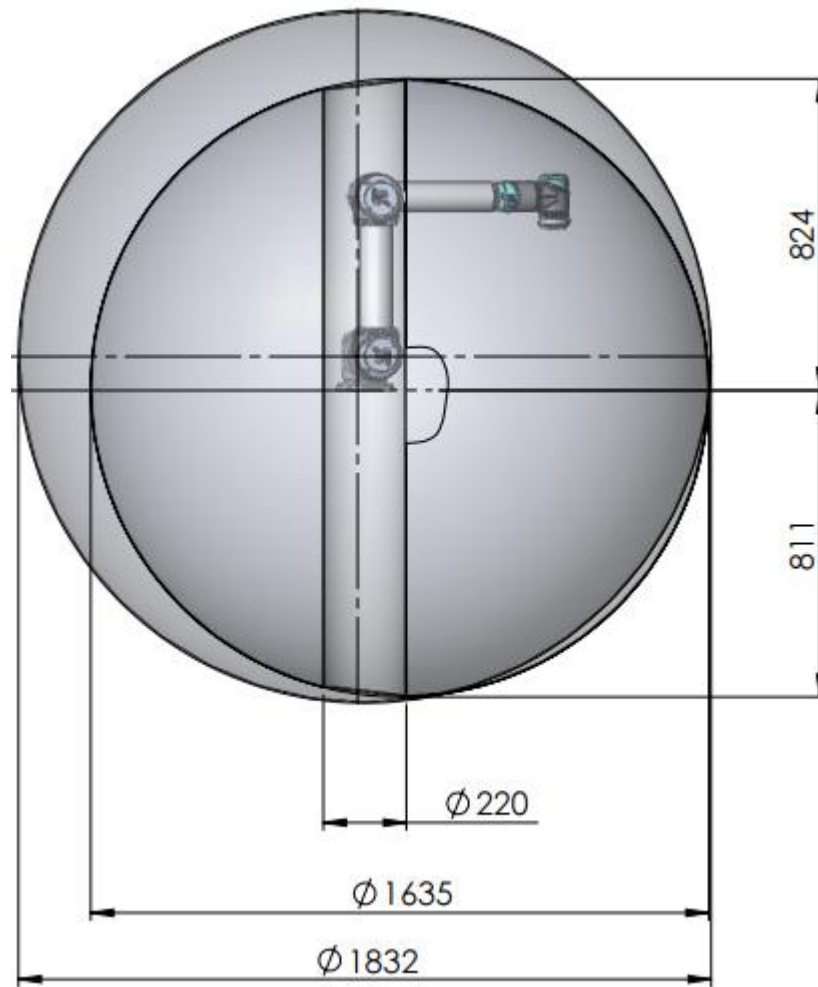


Ilustración 10.4 Espacio de trabajo recomendado (Universal Robots, 2015)

- Pantalla táctil: Es el medio por el cual permite manejar el brazo robótico y la caja de control, ejecutar programas del robot y crear otros nuevos por medio de la interfaz gráfica Polyscope.



Ilustración 10.5 Pantalla táctil (Universal Robots, 2015)

En la pantalla de control de su interfaz donde se visualiza el robot en 3D, nos da la posibilidad de mover los ejes del robot e ir guardando puntos de paso para su posterior reproducción automática sin necesidad de tener profundos conocimientos en programación robótica, lo que lo hace ideal para el ámbito educativo. También es posible liberar los frenos de los ejes mediante un botón en la parte trasera de la pantalla para mover la herramienta del robot con las manos y poder hacer la trayectoria deseada para más tarde reproducirla con un alto grado de repetitibilidad.

A continuación se muestra el interfaz de la pantalla de control para movimiento manual del robot en el que se puede ver como se puede poner en movimiento cualquier eje independiente de los otros ya sea linealmente o angularmente.

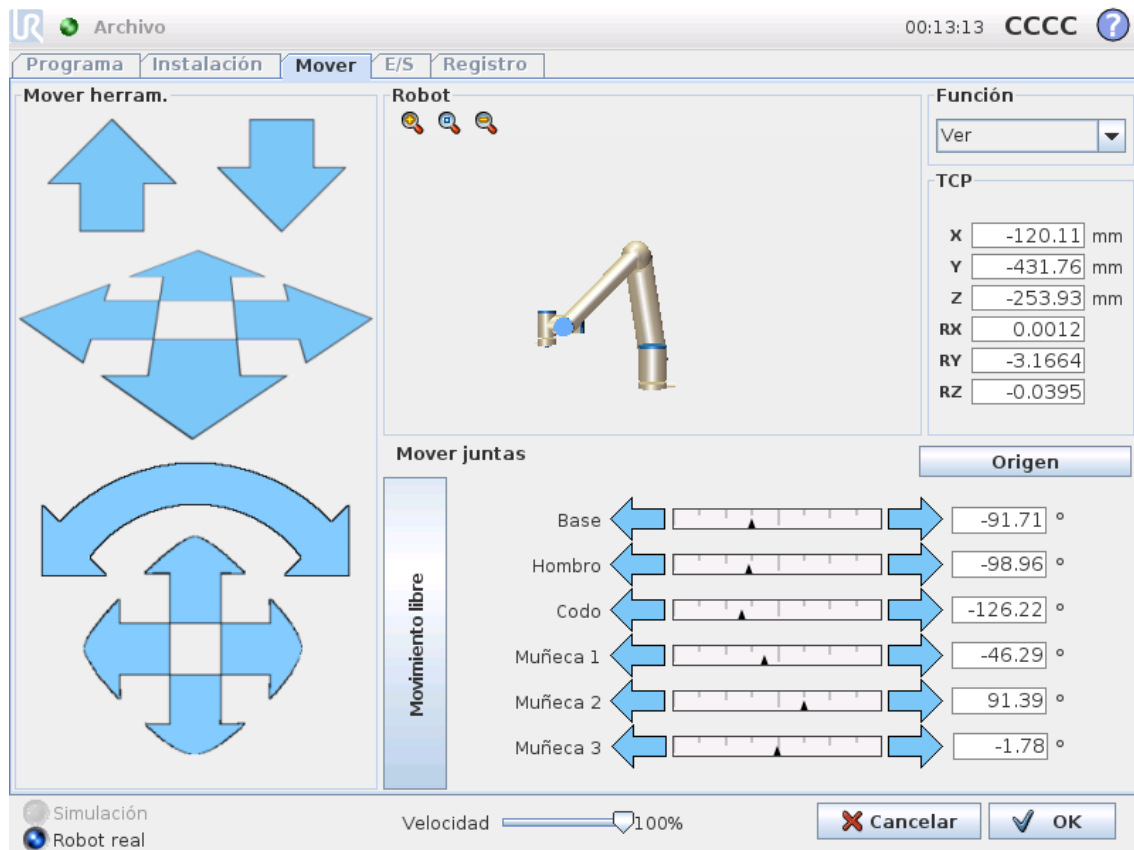


Ilustración 10.6 Interfaz de programación del robot UR5

También es posible también cambiar el TCP (tool center point) de una manera rápida y fácil dando sus coordenadas respecto al eje central de la muñeca o respecto su base.



## 11. Anexo 2, Centros educativos y universidades

### Centros educativos y Universidades

En este punto se va a enumerar los centros educativos que podrían demandar las herramientas didácticas así como su ubicación exacta. También se indican los módulos relacionados con la robótica industrial que se imparten en ellos y sus competencias educacionales.

- Salesianos:

Ubicación: Pamplona, C/ Aralar, 7



Ilustración 11.1 Ubicación colegio Salesianos (Google Maps, 2015)

Competencia: Educación secundaria y formación profesional

Tipo: Presencial

Cursos relacionados:

- Gs en “Automatización y Robótica industrial”
- Gs en “Programación de la producción en fabricación mecánica”
- Gs en “Diseño de fabricación mecánica”

- I.E.S. San Juan Donibane:

Ubicación: Pamplona, C/ Biurdiana, 1

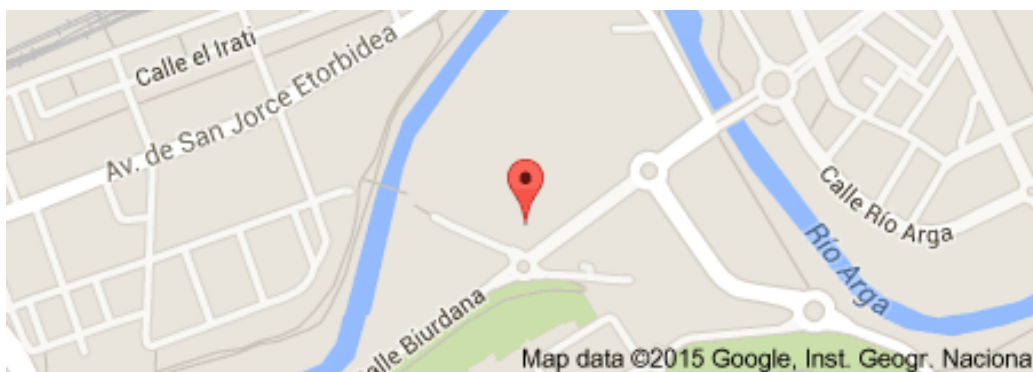


Ilustración 11.2 Ubicación I.E.S San Juan Donanibe (Google Maps, 2015)

Competencia: Educación secundaria y formación profesional

Tipo: Presencial

Cursos relacionados:

- Gs en “Automatización y Robótica industrial”

- Universidad de Alcalá- Exitae:

Ubicación: Pamplona, C/ Monasterio de Velate, 1



Ilustración 11.3 Ubicación de sede de Universidad de Alcalá en Pamplona (Google Maps, 2015)

Competencia: Universitario y cursos de formación

Tipo: Semipresencial y online

Cursos, grados y másteres relacionados:

- Curso de formación superior en automatización industrial
- Máster en automatización industrial
- Curso universitario superior en automatización industrial
- Estudio superior en mantenimiento industrial
- Máster en automatización industrial
- Cursos de autómatas programables
- Máster en mantenimiento industrial
- Curso de formación en mantenimiento industrial

- Universidad pública de Navarra:

Ubicación: Pamplona o Tudela, Campus de Arrosadia o Campus de Tudela respectivamente



Ilustración 11.4 Ubicación UPNA de Pamplona (Google Maps, 2015)

Competencia: Universitario

Tipo: Presencial

Grados relacionados:

- Grado en “Ingeniería en tecnologías industriales”
  - Grado en “Ingeniería eléctrica y electrónica”
  - Grado en “Ingeniería informática”
  - Grado en “Ingeniería mecánica”
  - Grado en ingeniería en diseño mecánico”
- C.I.P ETI de Tudela

Ubicación: Tudela, Av. Tarazona, s/n



Ilustración 11.5 Ubicación C.I.P ETI (Google Maps, 2015)

Competencia: Formación profesional

Tipo: Presencial

Cursos relacionados:

- Gs en “Mecatrónica industrial”
- Gm en “Mantenimiento electromecánico”
- Gs en “Programación de la producción en fabricación mecánica”

- I.E.S Ribera del Arga:

Ubicación: Peralta, C/ Bajada de las Escuelas, 15



Ilustración 11.6 Ubicación I.E.S Ribera del Arga (Google Maps, 2015)

Competencia: Educación secundaria y formación profesional

Tipo: Presencial

Cursos relacionados:

- Gs en “Mecatrónica industrial”
- Gm en “Mantenimiento electromecánico”

- I.E.S Virgen del Camino:

Ubicación: Pamplona, C/ Imárcoain, 1



Ilustración 11.7 Ubicación I.E.S Virgen del Camino (Google Maps, 2015)

Competencia: Educación secundaria y formación profesional

Tipo: Presencial

Cursos relacionados:

- Gs en “Mecatrónica industrial”
- Gm en “Mantenimiento electromecánico”
- Gs en “Programación de la producción en fabricación mecánica”

- I.E.S Sierra de Leyre:

Ubicación: Lumbier, Av. de Salazar, 9



Ilustración 11.8 Ubicación I.E.S Sierra de Leyre (Google Maps, 2015)

Competencia: Educación secundaria y formación profesional

Tipo: Presencial

Cursos relacionados:

- Gs en “Mecatrónica industrial”
- Gm en “Mantenimiento electromecánico”



- I.E.S Politécnico Estella:

Ubicación: Estella, C/ San Pol, 8



Ilustración 11.9 Ubicación I.E.S Politécnico Estella (Google Maps, 2015)

Competencia: Educación secundaria y formación profesional

Tipo: Presencial

Cursos relacionados:

- Gs en “Mecatrónica industrial”

- I.E.S Toki-Ona:

Ubicación: Vera de Bidasoa, C/ Eztegarra Pasealekua, 34



Ilustración 11.10 Ubicación I.E.S Toki-Ona (Google Maps, 2015)



Competencia: Educación secundaria y formación profesional

Tipo: Presencial

Cursos relacionados:

- Gs en “Mecatrónica industrial”
- Gm en “Mantenimiento electromecánico”

- I.E.S de Huarte:

Ubicación: Huarte, Carretera De Olaz Txipi, s/n



Ilustración 21.11 Ubicación I.E.S Huarte (Google Maps, 2015)

Competencia: Educación secundaria y formación profesional

Tipo: Presencial

Cursos relacionados:

- Gm en “Mantenimiento electromecánico”

- I.E.S San Miguel de Aralar II:

Ubicación: Alsasua, C/ Celai, s/n



Ilustración 11.12 Ubicación I.E.S San Miguel de Aralar II (Google Maps, 2015)

Competencia: Educación secundaria y formación profesional

Tipo: Presencial

Cursos relacionados:

- Gm en “Mantenimiento electromecánico”

- I.E.S Politécnico Tafalla:

Ubicación: Tafalla, Av. Tudela, 6



Ilustración 11.13 Ubicación I.E.S Politécnico Tafalla (Google Maps, 2015)

Competencia: Formación profesional

Tipo: Presencial

Cursos relacionados:

- Gs en “Programación de la producción en fabricación mecánica”

### **Centros de formación**

En este punto se va a proporcionar información sobre asociaciones e instituciones donde se dan cursos relacionados con la automatización y la robótica y donde podría ser interesante la incorporación de las herramientas de este proyecto. Estos cursos están destinados a autónomos, trabajadores en activo o desempleados.

- AIN (Asociación de la industria de Navarra)

Ubicación: Cordovilla, Carretera de Pamplona, 1



Ilustración 11.14 Ubicación AIN (Google Maps, 2015)

Competencia: Formación profesional

Tipo: Presencial

Cursos relacionados:

- Curso en “Desarrollo de proyectos de sistemas de medida y regulación en sistemas de automatización industrial” (Duración 180h)

Requisitos: Desempleados que hayan realizado algún módulo o unidad formativa de esta especialidad

- Curso en “Inspección y defectología de soldadura en sistemas automatizados”. (Duración 12h)

Requisitos: Trabajador en activo con responsabilidades en procesos productivos de soldeo.

- Forem Navarra

Ubicación: Mutilva, Polígono Industrial de Mutilva Baja C/ U, nº 1-3



Ilustración 11.15 Ubicación Forem Navarra (Google Maps, 2015)

Competencia: Formación profesional

Tipo: Presencial

Cursos relacionados:

- Curso en “Automatismos eléctricos” (Duración 60h).

Requisitos: Trabajadores en activo

- Curso en “Instalaciones eléctricas automatizadas e instalaciones de automatismos”. (Duración 240h)

Requisitos: Tener el graduado en ESO

- Curso de “Autómatas programables” (Duración 65h)

Requisitos: Ser trabajador en activo con conocimientos básicos sobre autómatas.

- Servicio Navarro de empleo (Inem)

Ubicación: Tudela, C/ Díaz Bravo, 20



Ilustración 11.16 Ubicación Inem Tudela (Google Maps, 2015)

Ubicación: Pamplona, C/ Paulino Caballero, 50



Ilustración 11.17 Inem Pamplona (Google Maps, 2015)

Competencia: Formación profesional

Tipo: Presencial

Cursos relacionados:

- Curso en “Montaje y mantenimiento de sistemas de automatización industrial” (Duración 260h)

Requisitos: Desempleados inscritos como demandantes de empleo en el Inem. ESO, FP I o equivalente.

- Curso en “Mantenimiento y montaje mecánico de equipo industrial”. (Duración 240h)

Requisitos: Desempleados inscritos como demandantes de empleo en el Inem. ESO, FP I o equivalente.

- Curso de “Desarrollo de proyectos de sistema de automatización industrial” (Duración 180h)

Requisitos: Desempleados inscritos como demandantes de empleo en el Inem. ESO, FP I o equivalente.

- Curso de “Configuración y programación básica de PLCs” (Duración 30h)

Requisitos: Desempleados inscritos como demandantes de empleo en las agencias de empleo de Navarra o el Inem. Bachiller, Formación Profesional I o experiencia laboral mínima de 1 año en automatismos.

- Curso de “Mantenimiento de instalaciones automatizadas controladas por autómatas programables” (Duración 300h)

Requisitos: Desempleados inscritos como demandantes de empleo. Certificado de escolaridad o equivalente. Con 2 años de experiencia o formación profesional en electricidad o curso de “Auxiliar de montajes eléctricos” o “Auxiliar electricista”.





## 12. Anexo 3, Manual de montaje

En este anexo se va a mostrar los pasos de montaje que se debe seguir para el correcto funcionamiento de las herramientas.

### Bastidor de ventosas

1. Coloque la placa de base en un sitio cómodo para su manipulación.

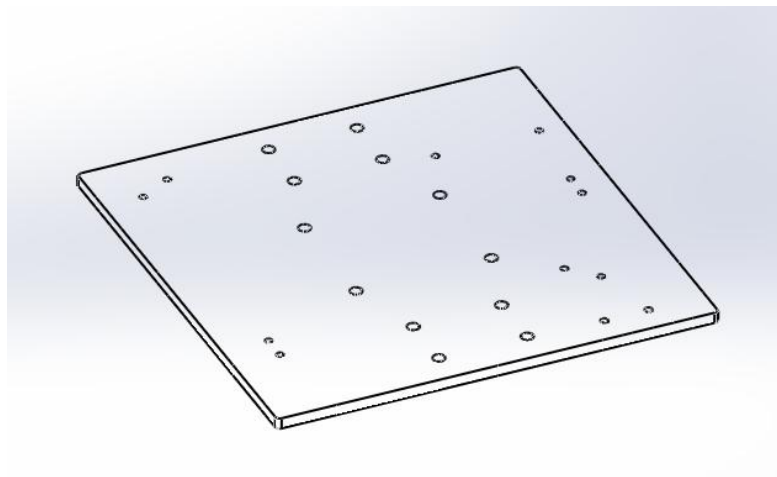


Ilustración 12.1 Paso de montaje 1

2. Atornille la electroválvula 3/2 en la posición donde se indica a continuación, de manera que la entrada de presión de aire comprimido quede hacia afuera del bastidor:

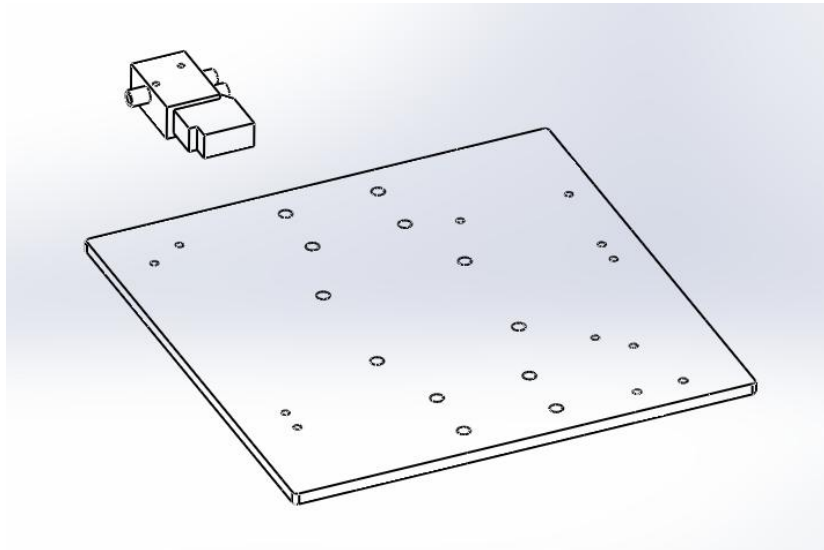


Ilustración 12.2 Paso de montaje 2

3. Instale el generador de vacío en la posición que se muestra a continuación, asegúrese de que la entrada de presión del generador queda orientada mirando a la salida de aire de la electroválvula.

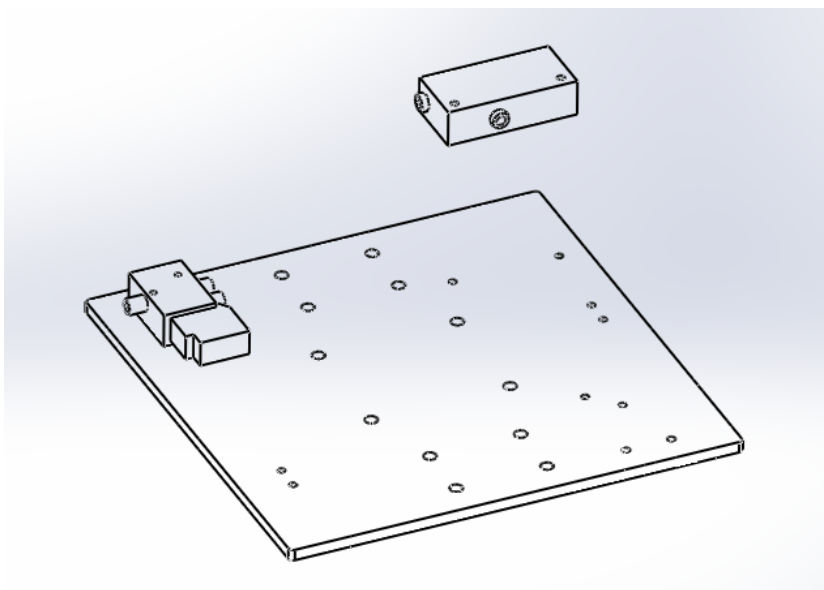


Ilustración 12.3 Paso de montaje 3

4. Haga la conexión neumática 0-0 entre la electroválvula y el generador.

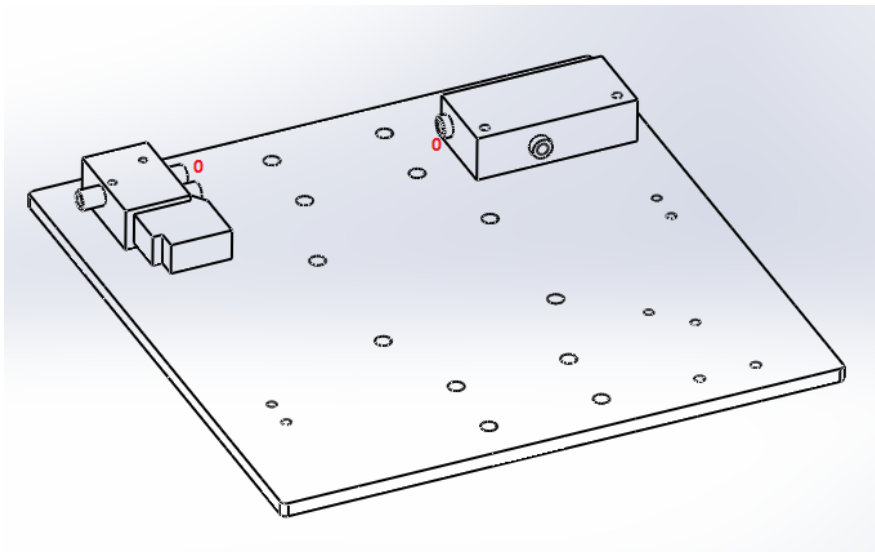


Ilustración 12.4 Paso de montaje 4

5. Atornille los racores con la orientación y posición que se muestra a continuación:

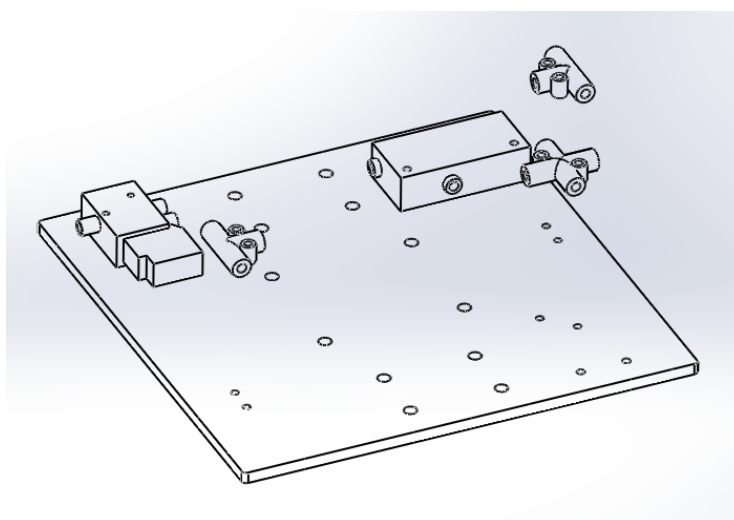


Ilustración 12.5 Paso de montaje 5

6. Realice las conexiones neumáticas que se indican a continuación, la 1-1, 3-3, 4-4.

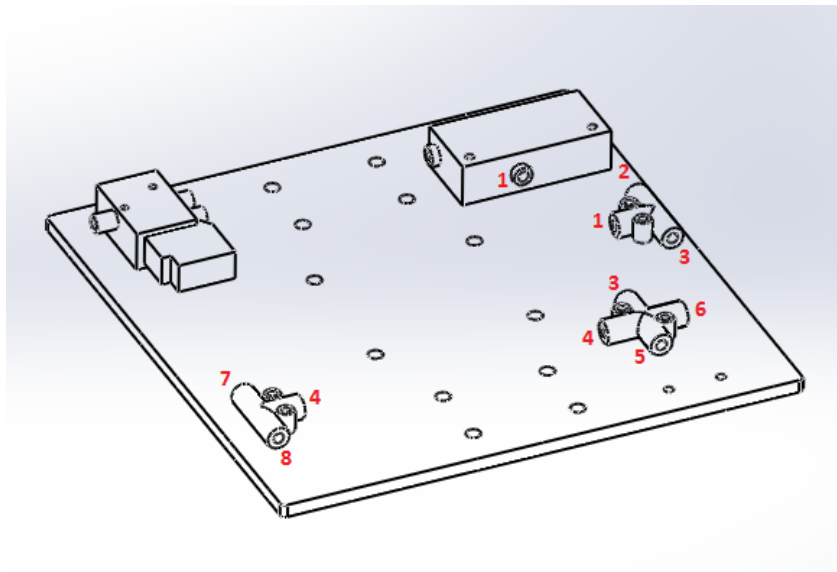


Ilustración 12.6 Paso de montaje 6

7. Atornille el vacuostato a la pletina y sitúe el conjunto en la posición que se indica a continuación:

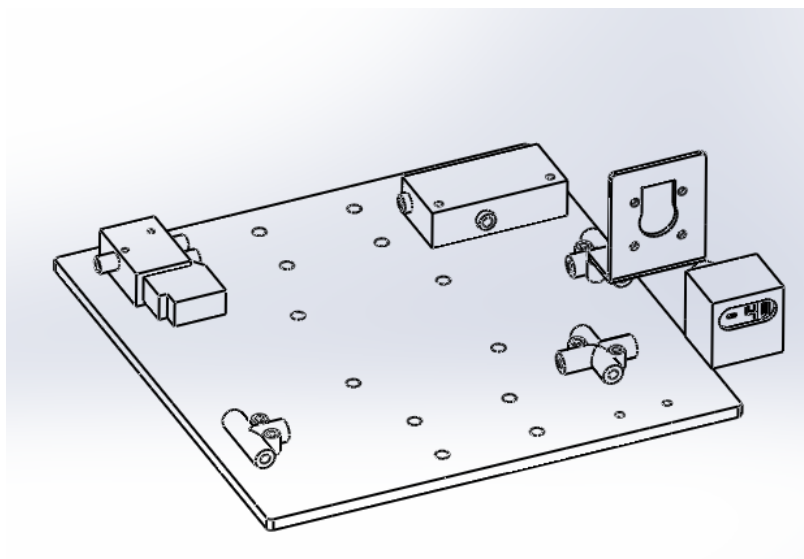


Ilustración 12.7 Paso de montaje 7

8. Haga la conexión neumática 5-5 entre el racor en doble T y la entrada del vacuostato:

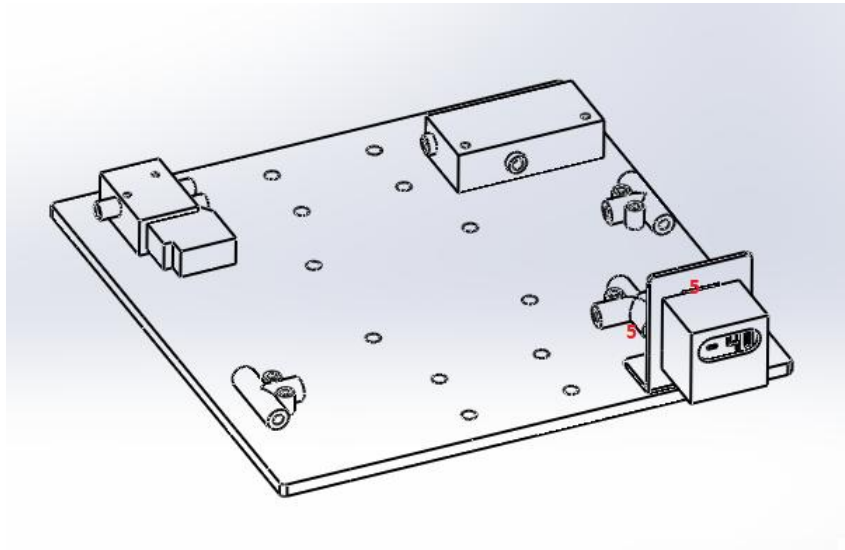


Ilustración 12.8 Paso de montaje 8

9. Atornille los agarres de los perfiles a la parte posterior de la placa de base orientados como se indica, es importante que la parte con mayor espesor del agarre quede en contacto con la placa y la de menor espesor en la cara contraria. No apriete del todo los tornillos que amordazan.

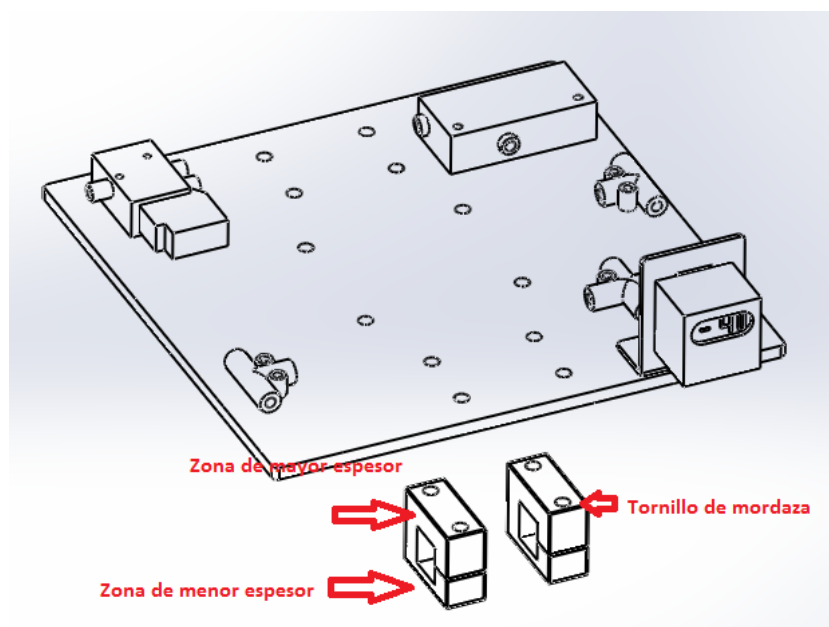


Ilustración 12.9 Paso de montaje 9

10. Introduzca los perfiles por un lateral en el hueco de los agarres y posícionelos de manera que quede la misma longitud saliente a ambos lados.

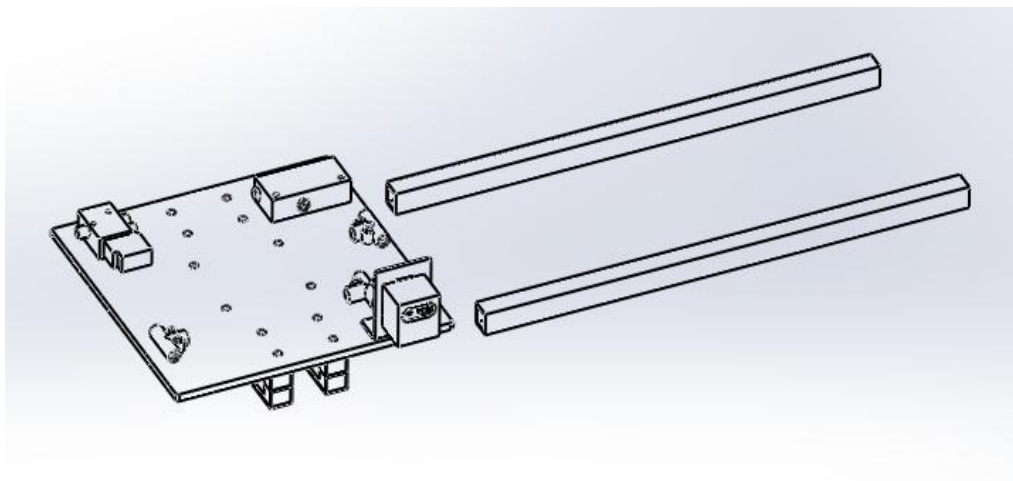


Ilustración 12.10 Paso de montaje 10

11. Cuando los tenga bien situados, amordácelos.

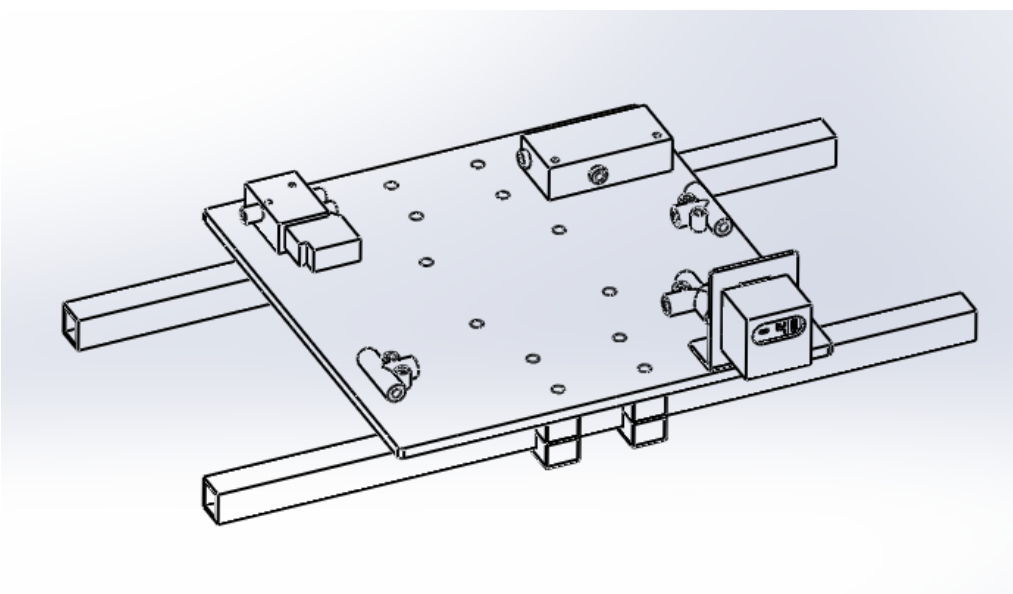


Ilustración 12.11 Paso de montaje 11

12. Introduzca en los perfiles los agarres de las ventosas orientados en la posición que se indica:

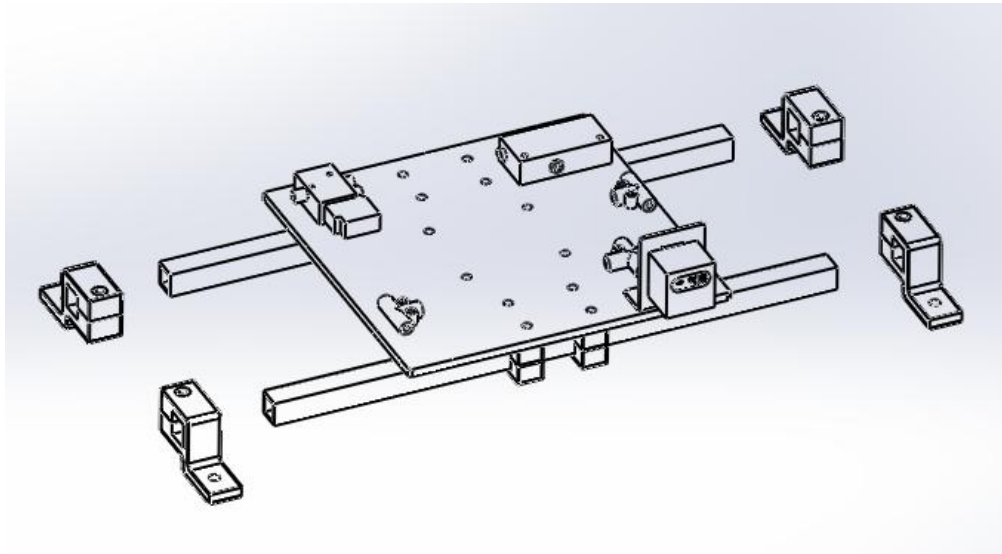


Ilustración 12.12 Paso de montaje 12

13. A continuación fíjelos mediante el tornillo moleteado:

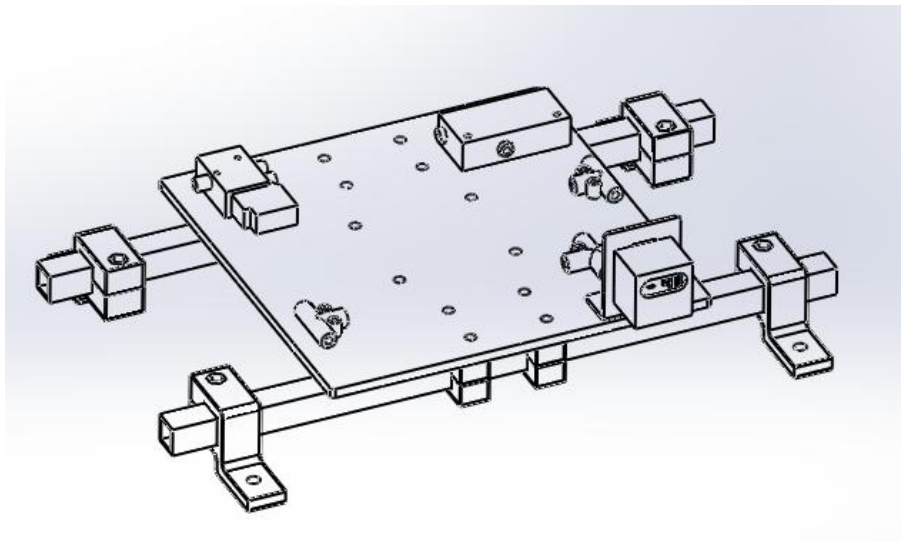


Ilustración 12.13 Paso de montaje 13

14. Instale las cuatro ventosas en los agarres. Esto se realiza mediante los siguientes pasos:

- Retire la contratuerca superior de la ventosa.
- Introdúzcala en el agujero del agarre.
- Meta la contratuerca por la parte superior del esparrago de la ventosa y a continuación instale el racor correspondiente.

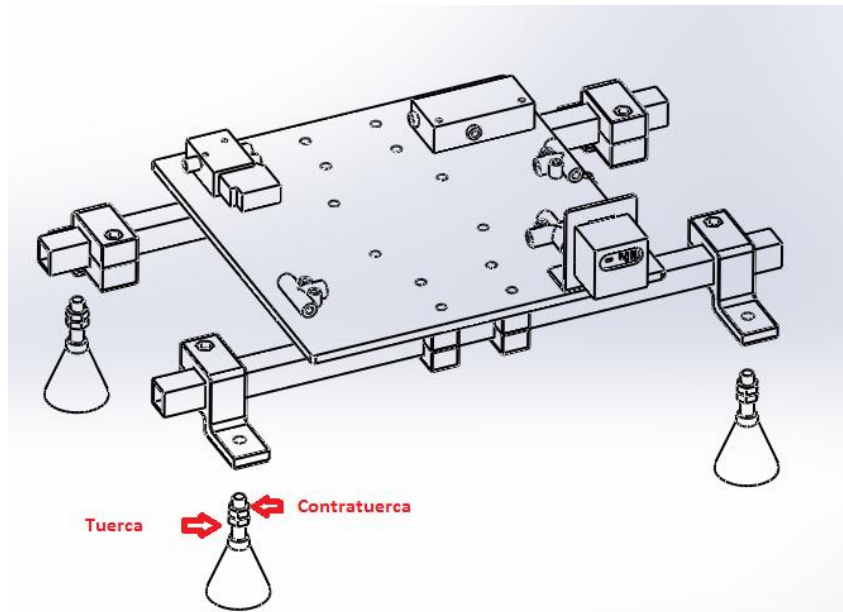


Ilustración 12.14 Paso de montaje 14

15. Ajuste la contratuerca al racor y apriételo con la tuerca para que las ventosas queden a la misma altura.

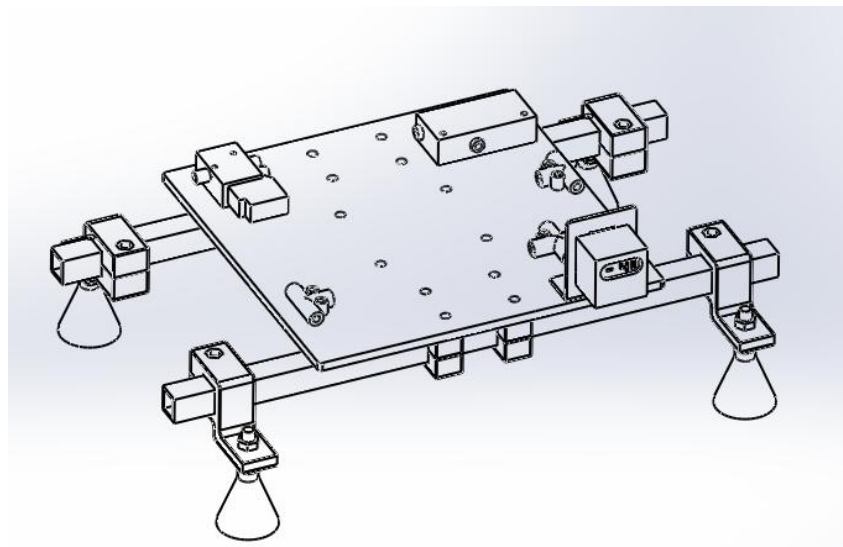


Ilustración 12.15 Paso de montaje 15

16. Atornille el agarre a la brida mediante los tornillos correspondientes:



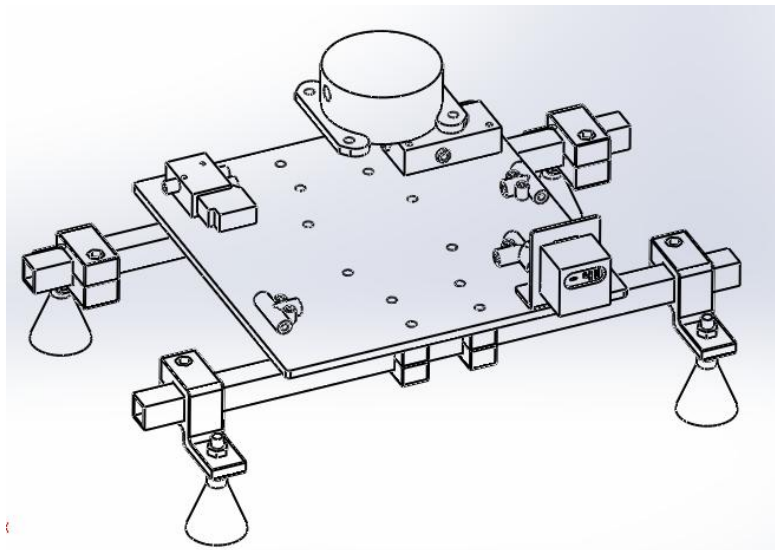


Ilustración 12.16 Paso de montaje 16

17. Haga las conexiones neumáticas **2-2,6-6, 7-7** y **8-8** que corresponden a las conexiones entre los racores en T y doble T a los racores de las ventosas.

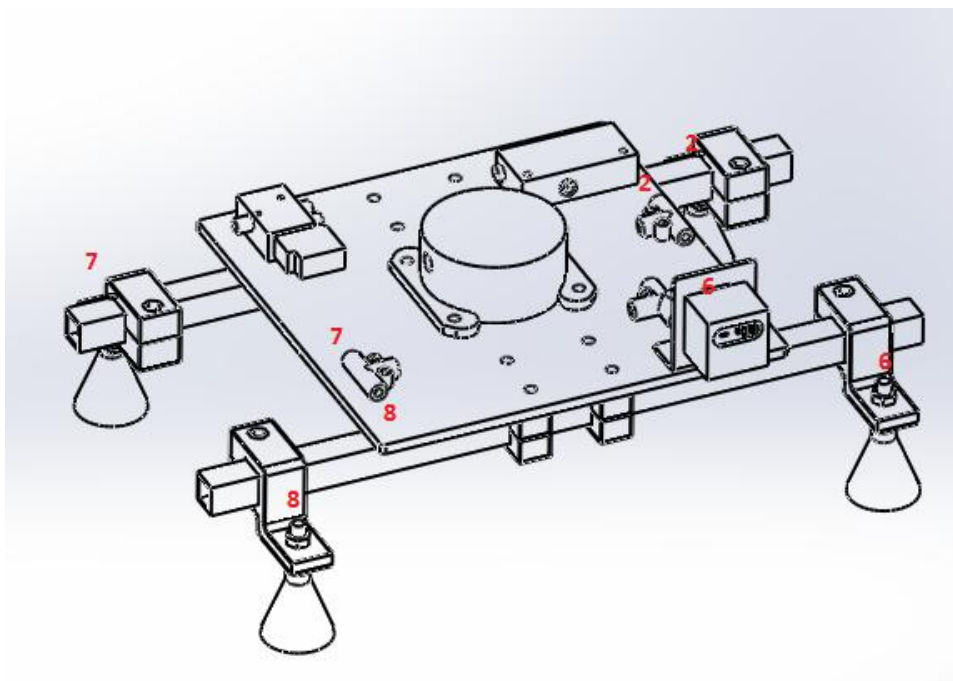


Ilustración 12.17 Paso de montaje 17

## Montaje de la pinza de soldadura

1. Coloque la base de la caja en un lugar cómodo para su manipulación.

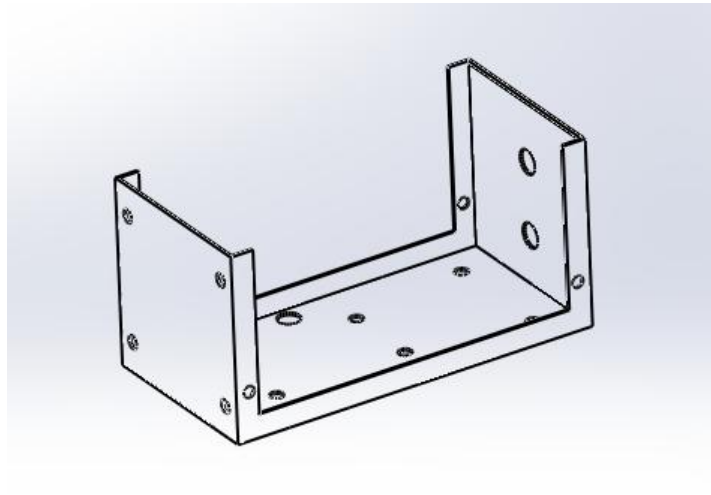


Ilustración 12.18 Paso de montaje 1

2. Atornille el taco en la parte delantera de la caja tal y como se muestra a continuación:

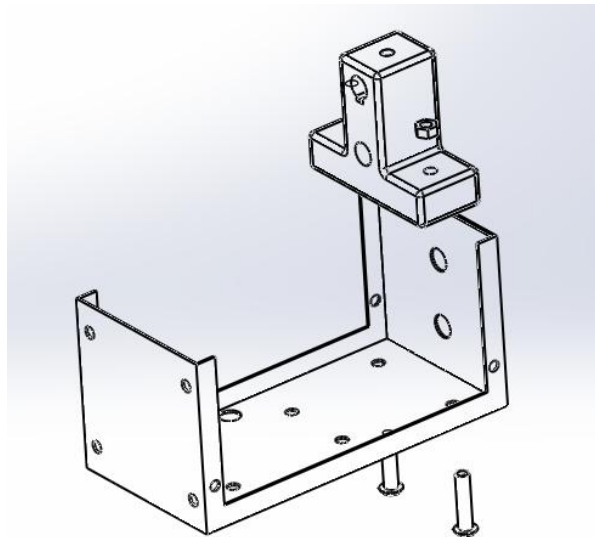


Ilustración 12.19 Paso de montaje 2

3. Póngale las escuadras al cilindro en la orientación que señala la siguiente figura y atorníllelo a la base de la caja:

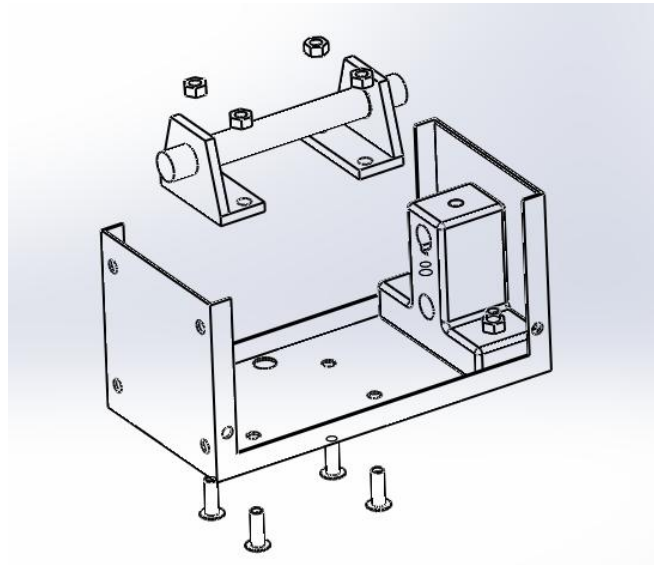


Ilustración 12.20 Paso de montaje 3

4. Rosque el electrodo inferior al vástago del cilindro:

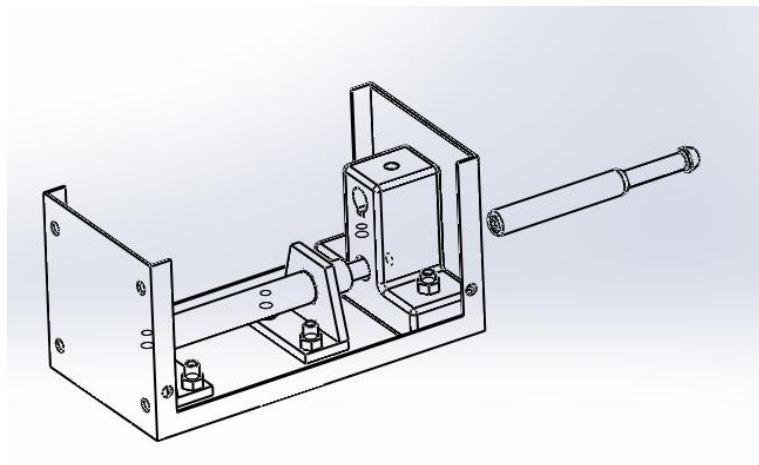


Ilustración 12.21 Paso de montaje 4

5. Mediante un martillo de acero embuta la claveta en la ranura inferior del electrodo superior e introdúzcalo en el agujero superior del taco:

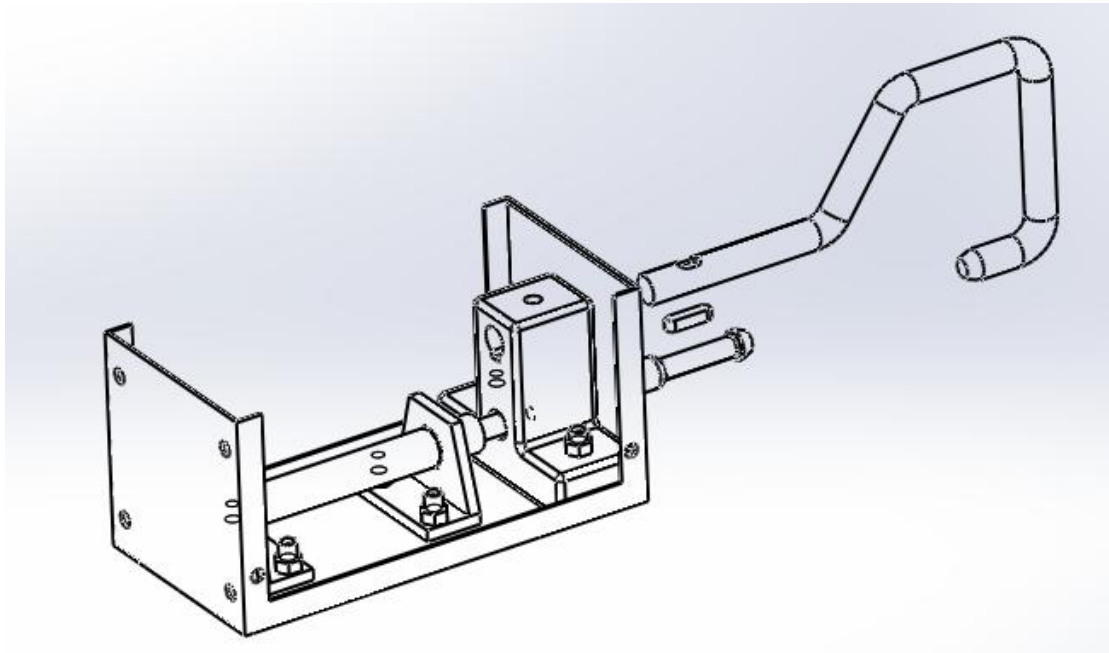


Ilustración 12.22 Paso de montaje 5

6. Introduzca el tornillo de cabeza allen de M6 en la rosca del agujero superior del taco para fijar el electrodo superior:

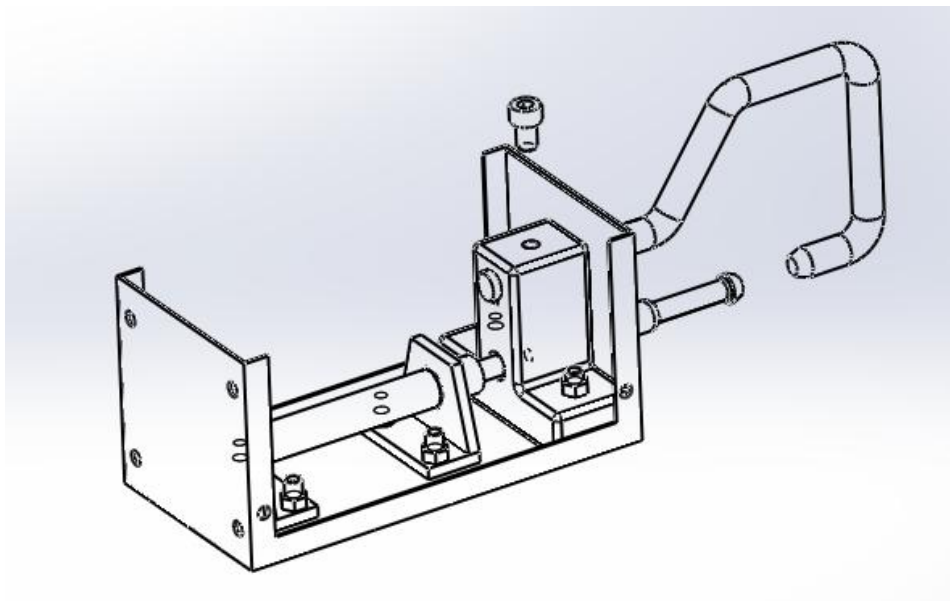


Ilustración 12.23 Paso de montaje 6

7. Coja la tapa de la caja y atorníllele la electroválvula 5/2 en los agujeros preparados para ello:

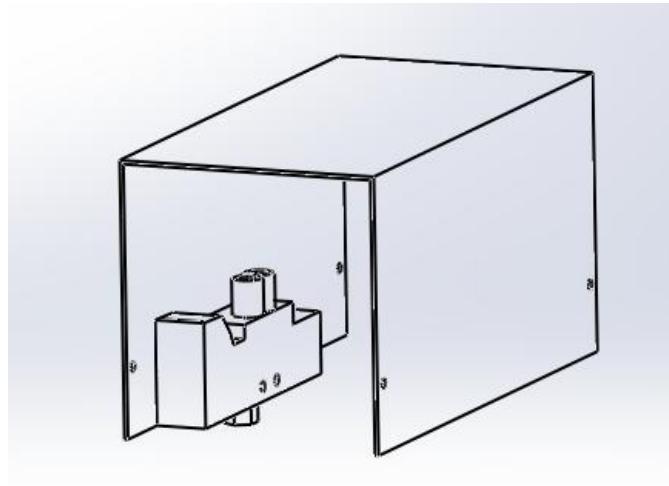


Ilustración 12.24 Paso de montaje 7

8. Coloque la tapa de manera que el racor de la entrada de presión de la electroválvula quede fuera de la caja mediante el agujero acondicionado para ello en la base de la caja:

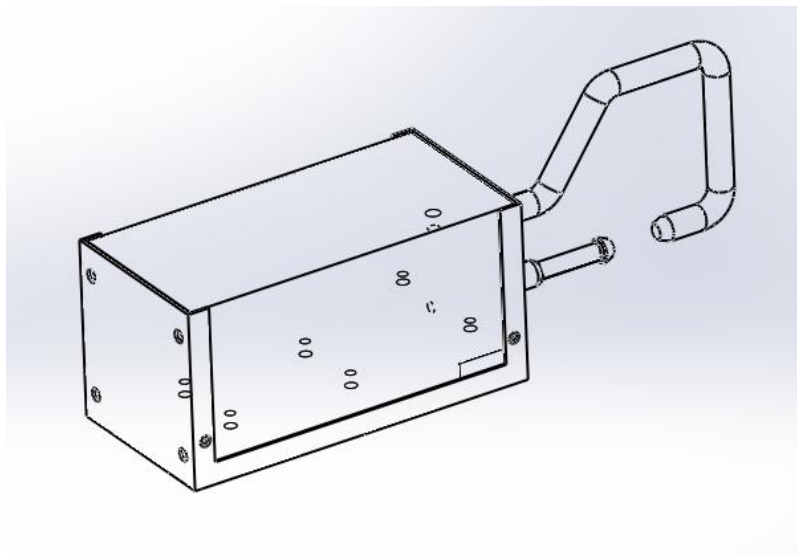


Ilustración 12.25 Paso de montaje 8

### Montaje de la pistola de soldadura

1. Inserte el tubo conductor en el mango manualmente y a continuación mediante un martillo presione el pasador en el orificio inferior del mango para fijar el tubo.

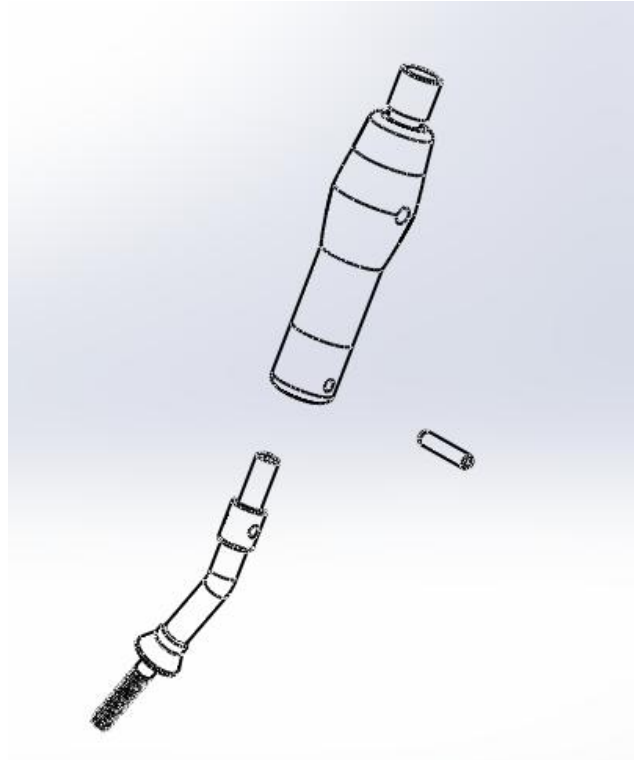


Ilustración 12.26 Paso de montaje 1

2. Introduzca el diodo LED en el orificio superior hasta que la parte metálica de la cabeza del diodo quede asomada en el mango:

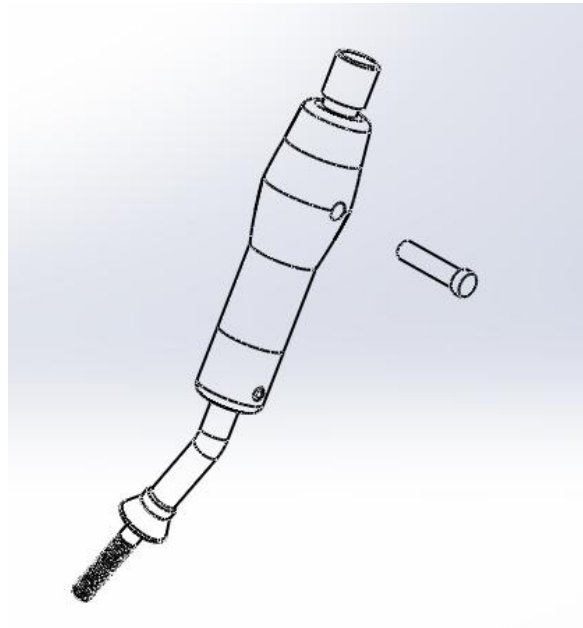


Ilustración 12.27 Paso de montaje 2

3. Rosque el difusor en la rosca macho del tubo conductor manualmente:

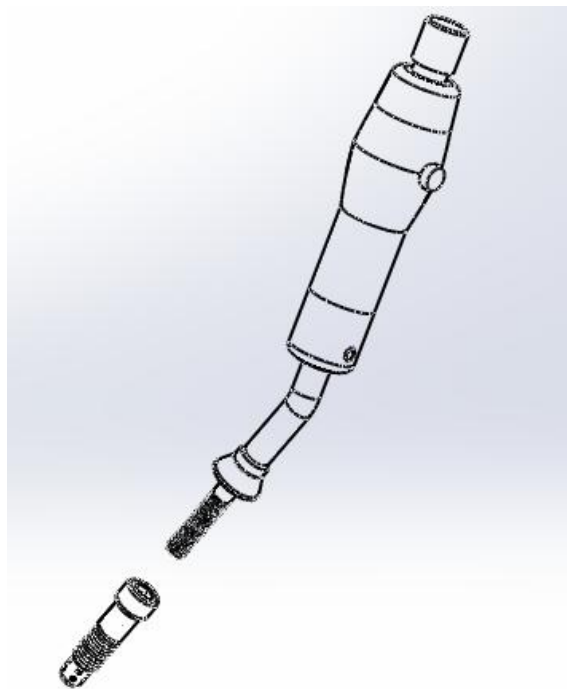


Ilustración 12.28 Paso de montaje 3

4. Inserte la boquilla en el difusor roscándola manualmente en la rosca macho del difusor:

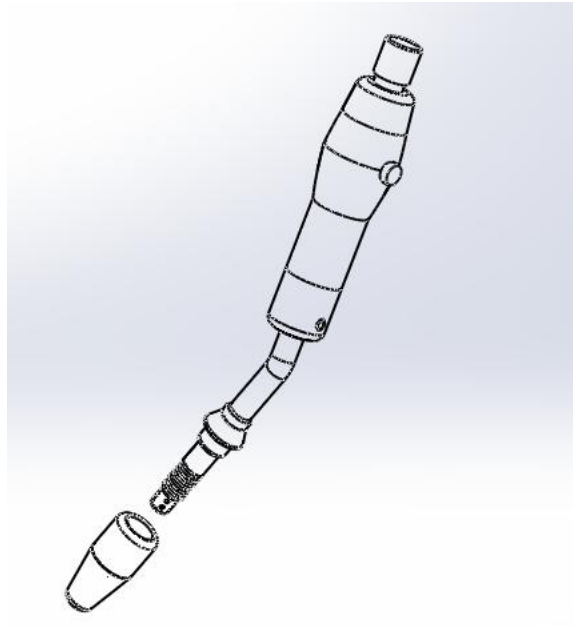


Ilustración 12.29 Paso de montaje 4

5. Coloque la parte de mayor diámetro del grillete en el mango y después amordácelo mediante el tornillo moleteado

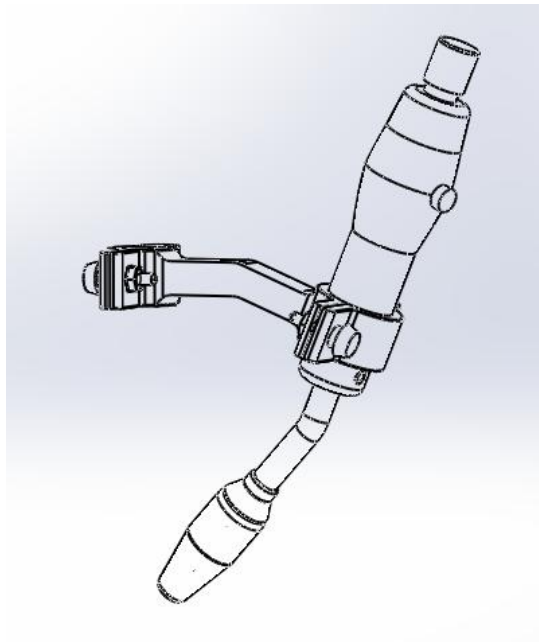


Ilustración 12.30 Paso de montaje 5



6. Coloque la parte de menor diámetro del grillete en la parte inferior del módulo estacionario y después amordácelo con el tornillo moleteado:

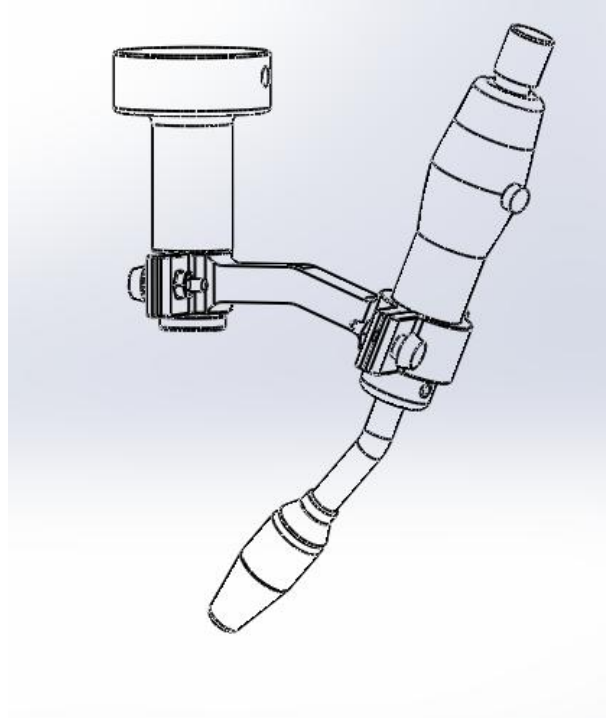


Ilustración 12.31 Paso de montaje 6



### 13. Anexo 4, Planos eléctricos

En este anexo se expone la programación creada a la hora de probar las herramientas en el robot así como una breve descripción del ciclo de trabajo.

#### **Bastidor de ventosas**

Para probar esta herramienta se hizo un programa en el que el robot tenía que transportar verticalmente varias planchas de madera de pesos distintos (1,2 y 0,4 Kg) apiladas de un lugar a otro y dejarlas en la misma posición:



Ilustración 13.1 Descripción de la prueba del bastidor

El programa que se hizo para ello es el que se expone a continuación:

Programa

Programa de robot

MovPlacaGrande

MoveJ

Reposo

AproxPos1

MoveL

Pos1

Ajustar TO[0]=Encender

Esperar TI[0]=HI

MoveL

AproxPos1

MoveJ

Reposo

AproxPos2

MoveL

Pos2

Ajustar TO[0]=Apagar

MoveJ

AproxPos2

Reposo

MovPlacaPeq1

MoveJ

AproxPos1b

MoveL

Pos1b

Ajustar TO[0]=Encender

Esperar TI[0]=HI

MoveL

AproxPos1b

MoveJ

Reposo

AproxPos2

MoveL

Pos2b

Ajustar TO[0]=Apagar

MoveJ

AproxPos2

Reposo

MovPlacaPeq2

MoveJ

AproxPos1b

MoveL

Pos1b

Ajustar TO[0]=Encender

Esperar TI[0]=HI

MoveL

AproxPos1b

MoveJ

Reposo

AproxPos2

MoveL

Pos2c

Ajustar TO[0]=Apagar

MoveJ

AproxPos2

Reposo

Esto es el resumen del programa pero para que el robot “entienda” esta información necesita definir los puntos de paso utilizados y las condiciones de paso de las salidas digitales. Para ello el robot genera la información asociada a la programación que se le ha propuesto:

```
def bastidor20160209v1():
    set_standard_analog_input_domain(0, 1)
    set_standard_analog_input_domain(1, 1)
    set_tool_analog_input_domain(0, 1)
    set_tool_analog_input_domain(1, 1)
    set_analog_outputdomain(0, 0)
    set_analog_outputdomain(1, 0)
    set_tool_voltage(24)
    set_standard_digital_input_action(0, "default")
    set_standard_digital_input_action(1, "default")
    set_standard_digital_input_action(2, "default")
    set_standard_digital_input_action(3, "default")
    set_standard_digital_input_action(4, "default")
    set_standard_digital_input_action(5, "default")
    set_standard_digital_input_action(6, "default")
    set_standard_digital_input_action(7, "default")
    set_tool_digital_input_action(0, "default")
    set_tool_digital_input_action(1, "default")
    set_tcp(p[0.0,0.0,0.121,0.0,0.0,0.0])
    set_payload(1.1)
    set_gravity([0.0, 0.0, 9.82])
    $ 1 "Programa de robot"
    $ 2 "MovPlacaGrande"
    $ 3 "MoveJ"
    $ 4 "Reposo"
    movej([-1.3875180155044555, -1.689943918403202, -
1.5183778503086147, -1.5194865537179503, 1.5683227271735283,
3.3635494428952453], a=1.3962634015954636, v=1.0471975511965976)
    $ 5 "AproxPos1"
```

## DISEÑO Y PROTOTIPADO DE HERRAMIENTAS DIDÁCTICAS PARA ROBOT COLABORATIVO

---

```
movej([-2.062630869917191, -2.3823480731219004, -
1.5870115738312975, -0.7559020969328039, 1.5641031447047222,
2.686966568362333], a=1.3962634015954636, v=1.0471975511965976)
$ 6 "MoveL"
$ 7 "Pos1"
move1([-2.0626381079333918, -2.4318191846793913, -
1.5852679718825176, -0.7081926037823152, 1.564064264294313,
2.6869273185702376], a=1.2, v=0.015)
$ 8 "Ajustar TO[0]=Encender"
set_tool_digital_out(0, True)
$ 9 "Esperar TI[0]=HI"
while (get_tool_digital_in(0) == False):
    sync()
end
$ 10 "MoveL"
$ 11 "AproxPos1"
move1([-2.062630869917191, -2.3823480731219004, -
1.5870115738312975, -0.7559020969328039, 1.5641031447047222,
2.686966568362333], a=1.2, v=0.01)
$ 12 "MoveJ"
$ 13 "Reposo"
movej([-1.3875180155044555, -1.689943918403202, -
1.5183778503086147, -1.5194865537179503, 1.5683227271735283,
3.3635494428952453], a=1.3962634015954636, v=1.0471975511965976)
$ 14 "AproxPos2"
movej([-0.7677197469576678, -2.3920640072413386, -
1.6263754147798917, -0.7020531790415419, 1.5628430363481778,
3.9770934270133567], a=1.3962634015954636, v=1.0471975511965976)
$ 15 "MoveL"
$ 16 "Pos2"
move1([-0.7677197469634685, -2.4261368457069175, -
1.6240034719114016, -0.670352283444406, 1.5628430363481343,
3.9770934270075458], a=1.2, v=0.25)
$ 17 "Ajustar TO[0]=Apagar"
set_tool_digital_out(0, False)
$ 18 "MoveJ"
$ 19 "AproxPos2"
movej([-0.7677197469576678, -2.3920640072413386, -
1.6263754147798917, -0.7020531790415419, 1.5628430363481778,
3.9770934270133567], a=1.3962634015954636, v=1.0471975511965976)
$ 20 "Reposo"
movej([-1.3875180155044555, -1.689943918403202, -
1.5183778503086147, -1.5194865537179503, 1.5683227271735283,
3.3635494428952453], a=1.3962634015954636, v=1.0471975511965976)
$ 21 "MovPlacaPeql"
$ 22 "MoveJ"
$ 23 "AproxPos1b"
movej([-2.0626308699212217, -2.405346771896145, -
1.5867854185128065, -0.7331295534770197, 1.5641031447046707,
2.686966568358301], a=1.3962634015954636, v=1.0471975511965976)
$ 24 "MoveL"
$ 25 "Pos1b"
move1([-2.062661949793579, -2.4529471875206497, -
1.5831673692095247, -0.6891604352408987, 1.564040303230918,
2.686891317366733], a=1.2, v=0.015)
$ 26 "Ajustar TO[0]=Encender"
set_tool_digital_out(0, True)
```

## DISEÑO Y PROTOTIPADO DE HERRAMIENTAS DIDÁCTICAS PARA ROBOT COLABORATIVO

---

```
$ 27 "Esperar TI[0]=HI"
while (get_tool_digital_in(0) == False):
    sync()
end
$ 28 "MoveL"
$ 29 "AproxPos1b"
move1([-2.0626308699212217, -2.405346771896145, -
1.5867854185128065, -0.7331295534770197, 1.5641031447046707,
2.686966568358301], a=1.2, v=0.01)
$ 30 "MoveJ"
$ 31 "Reposo"
movej([-1.3875180155044555, -1.689943918403202, -
1.5183778503086147, -1.5194865537179503, 1.5683227271735283,
3.3635494428952453], a=1.3962634015954636, v=1.0471975511965976)
$ 32 "AproxPos2"
movej([-0.7677197469576678, -2.3920640072413386, -
1.6263754147798917, -0.7020531790415419, 1.5628430363481778,
3.9770934270133567], a=1.3962634015954636, v=1.0471975511965976)
$ 33 "MoveL"
$ 34 "Pos2b"
move1([-0.7677197469630102, -2.4234197682620966, -
1.6242656295555822, -0.6728072032450427, 1.5628430363481423,
3.977093427008022], a=1.2, v=0.25)
$ 35 "Ajustar TO[0]=Apagar"
set_tool_digital_out(0, False)
$ 36 "MoveJ"
$ 37 "AproxPos2"
movej([-0.7677197469576678, -2.3920640072413386, -
1.6263754147798917, -0.7020531790415419, 1.5628430363481778,
3.9770934270133567], a=1.3962634015954636, v=1.0471975511965976)
$ 38 "Reposo"
movej([-1.3875180155044555, -1.689943918403202, -
1.5183778503086147, -1.5194865537179503, 1.5683227271735283,
3.3635494428952453], a=1.3962634015954636, v=1.0471975511965976)
$ 39 "MovPlacaPeq2"
$ 40 "MoveJ"
$ 41 "AproxPos1b"
movej([-2.0626308699212217, -2.405346771896145, -
1.5867854185128065, -0.7331295534770197, 1.5641031447046707,
2.686966568358301], a=1.3962634015954636, v=1.0471975511965976)
$ 42 "MoveL"
$ 43 "Pos1b"
move1([-2.062661949793579, -2.4529471875206497, -
1.5831673692095247, -0.6891604352408987, 1.564040303230918,
2.686891317366733], a=1.2, v=0.015)
$ 44 "Ajustar TO[0]=Encender"
set_tool_digital_out(0, True)
$ 45 "Esperar TI[0]=HI"
while (get_tool_digital_in(0) == False):
    sync()
end
$ 46 "MoveL"
$ 47 "AproxPos1b"
move1([-2.0626308699212217, -2.405346771896145, -
1.5867854185128065, -0.7331295534770197, 1.5641031447046707,
2.686966568358301], a=1.2, v=0.01)
$ 48 "MoveJ"
```



## DISEÑO Y PROTOTIPADO DE HERRAMIENTAS DIDÁCTICAS PARA ROBOT COLABORATIVO

---

```
$ 49 "Reposo"
movej([-1.3875180155044555, -1.689943918403202, -
1.5183778503086147, -1.5194865537179503, 1.5683227271735283,
3.3635494428952453], a=1.3962634015954636, v=1.0471975511965976)
$ 50 "AproxPos2"
movej([-0.7677197469576678, -2.3920640072413386, -
1.6263754147798917, -0.7020531790415419, 1.5628430363481778,
3.9770934270133567], a=1.3962634015954636, v=1.0471975511965976)
$ 51 "MoveL"
$ 52 "Pos2c"
movel([-0.7677197469617631, -2.416025985246476, -
1.624916038210861, -0.6795505776054007, 1.562843036348145,
3.9770934270092653], a=1.2, v=0.25)
$ 53 "Ajustar TO[0]=Apagar"
set_tool_digital_out(0, False)
$ 54 "MoveJ"
$ 55 "AproxPos2"
movej([-0.7677197469576678, -2.3920640072413386, -
1.6263754147798917, -0.7020531790415419, 1.5628430363481778,
3.9770934270133567], a=1.3962634015954636, v=1.0471975511965976)
$ 56 "Reposo"
movej([-1.3875180155044555, -1.689943918403202, -
1.5183778503086147, -1.5194865537179503, 1.5683227271735283,
3.3635494428952453], a=1.3962634015954636, v=1.0471975511965976)
end
```

### Pinza de soldadura

Para probar esta herramienta se colocó dos planchas de poco espesor en distinta posición y orientación, una en horizontal y otra en vertical, después se generó un programa en el que el robot tenía que realizar varias simulaciones de soldadura (mediante el cierre del cilindro neumático) en distintas posiciones de trabajo para las dos planchas:

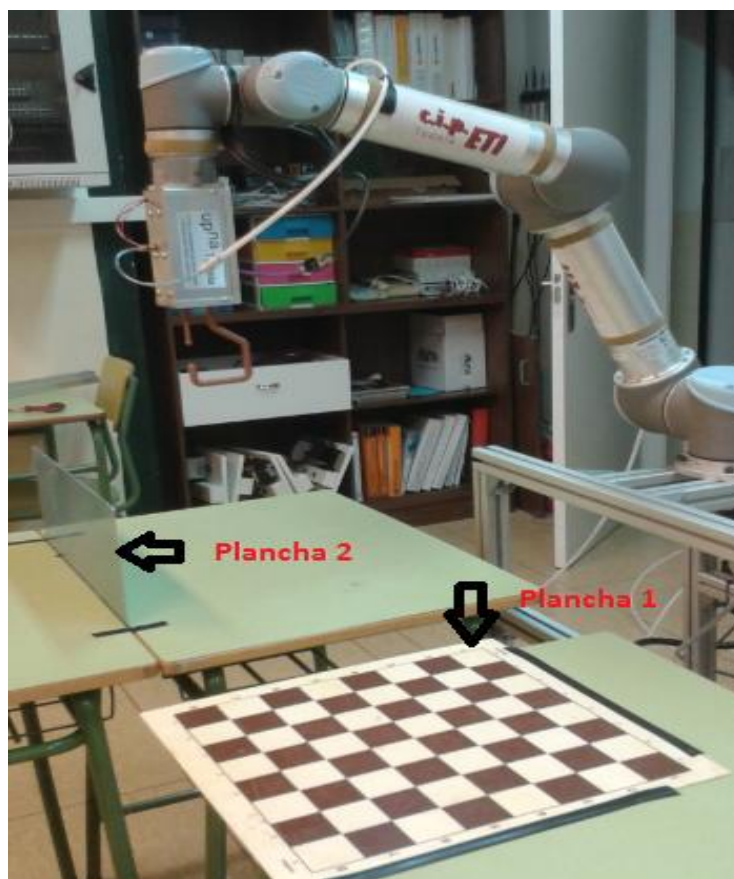


Ilustración 13.2 Descripción de la prueba de la pinza

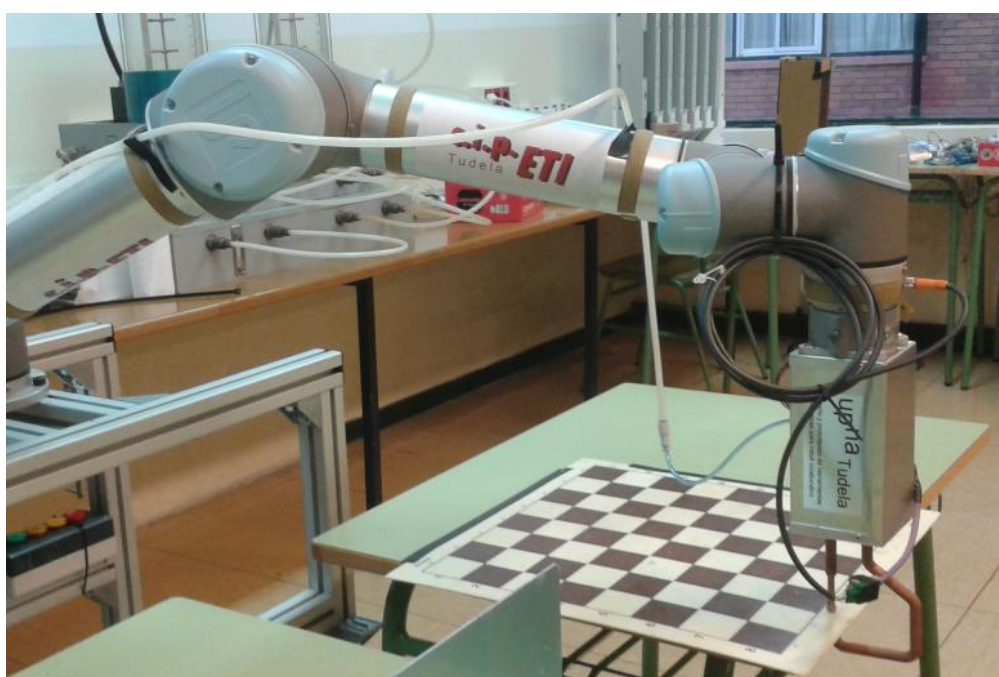


Ilustración 13.3 Ejecución de soldadura simulada en plancha 1

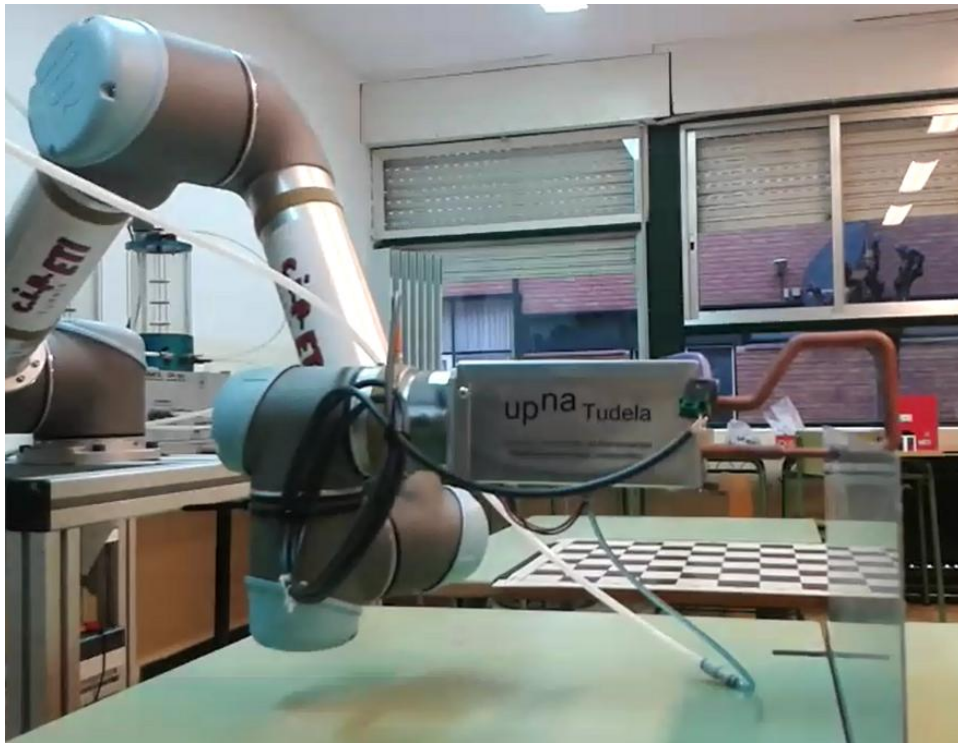


Ilustración 13.4 Ejecución de soldadura simulada en plancha 2

El programa fabricado para la prueba se muestra a continuación:

```
Programa
Programa de robot
Soldadura_horizontal
MoveJ
Reposo
Aprox1Sold1
MoveL
Aprox2Sold1
Aprox3Sold1
Sold1
Invocar PuntoSoldadura
MoveL
Aprox3Sold1
Aprox1Sold2
Sold2
Invocar PuntoSoldadura
MoveL
Aprox1Sold2
Aprox1Sold3
```

Sold3  
Invocar PuntoSoldadura  
MoveL  
Aprox1Sold3  
'Aprox1Sold4'  
Aprox2Sold4  
Aprox3Sold4  
Sold4  
Invocar PuntoSoldadura  
MoveL  
Aprox3Sold4  
Aprox1Sold5  
Sold5  
Invocar PuntoSoldadura  
MoveL  
Aprox1Sold5  
Aprox2Sold4  
Aprox2Sold1  
Aprox1Sold1  
'Reposo'  
Aprox0Sold6  
Aprox1Sol6  
Aprox2Sold6  
Aprox3Sold6  
Sold6  
Invocar PuntoSoldadura  
MoveL  
Aprox3Sold6  
Aprox1Sold7  
Sold7  
Invocar PuntoSoldadura  
MoveL  
Aprox1Sold7  
Aprox1Reposo  
Aprox2Reposo  
Aprox3Reposo  
Reposo  
Test  
Esperar: 3.0  
PuntoSoldadura

Ajustar TO[0]=Encender

Esperar: 0.75

Ajustar TO[0]=Apagar

El programa en el que se define todo es el siguiente:

```
def pinasold20160210v1():
    set_standard_analog_input_domain(0, 1)
    set_standard_analog_input_domain(1, 1)
    set_tool_analog_input_domain(0, 1)
    set_tool_analog_input_domain(1, 1)
    set_analog_outputdomain(0, 0)
    set_analog_outputdomain(1, 0)
    set_tool_voltage(24)
    set_standard_digital_input_action(0, "default")
    set_standard_digital_input_action(1, "default")
    set_standard_digital_input_action(2, "default")
    set_standard_digital_input_action(3, "default")
    set_standard_digital_input_action(4, "default")
    set_standard_digital_input_action(5, "default")
    set_standard_digital_input_action(6, "default")
    set_standard_digital_input_action(7, "default")
    set_tool_digital_input_action(0, "default")
    set_tool_digital_input_action(1, "default")
    set_tcp(p[0.0,0.0,0.266,0.0,0.0,0.0])
    set_payload(0.62)
    set_gravity([0.0, 0.0, 9.82])
    global Base=p[0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0]
    def PuntoSoldadura():
        set_tool_digital_out(0, True)
        sleep(0.75)
        set_tool_digital_out(0, False)
    end
    $ 1 "Programa de robot"
    $ 2 "Soldadura_horizontal"
    $ 3 "MoveJ"
    $ 4 "Reposo"
    movej([-1.6205678437338413, -2.1179386670584517, -
0.5573061378643311, -2.0371413822699154, 1.5707959440112644,
3.091820917668217], a=1.3962634015954636, v=1.0471975511965976,
r=0.142)
    $ 5 "Aprox1Sold1"
    movej([-1.1895353824710382, -1.5237600240453943, -
1.4964288153499812, -1.6902461230355712, 1.5716355078265565,
1.9785153601331629], a=1.3962634015954636, v=1.0471975511965976,
r=0.15)
    $ 6 "MoveL"
    $ 7 "Aprox2Sold1"
    movel(pose_trans(Base, p[0.071873331749499,-0.4718701471689055,-
0.16389479085419748,2.2490747262509907,2.1903633290467273,6.4211136
03797021E-5]), a=1.2, v=0.25)
    $ 8 "Aprox3Sold1"
    movel(pose_trans(Base, p[0.09703928684524685,-
0.47183661798591836,-
```

## DISEÑO Y PROTOTIPADO DE HERRAMIENTAS DIDÁCTICAS PARA ROBOT COLABORATIVO

---

```
0.1639226236126006,2.249179938341949,2.1904160634326666,5.278591596
2087296E-5]), a=1.2, v=0.25)
$ 9 "Sold1"
  move1(pose_trans(Base, p[0.09702309959740409,-0.471828189055708,-
0.15265871261075156,2.249252925391185,2.1904087401881225,7.90742447
8392201E-5]), a=1.2, v=0.25)
$ 10 "Invocar PuntoSoldadura"
  PuntoSoldadura()
$ 11 "MoveL"
$ 12 "Aprox3Sold1"
  move1(pose_trans(Base, p[0.09703928684524685,-
0.47183661798591836,-
0.1639226236126006,2.249179938341949,2.1904160634326666,5.278591596
2087296E-5]), a=1.2, v=0.25)
$ 13 "Aprox1Sold2"
  move1(pose_trans(Base, p[0.09705753811128731,-
0.6143389564226867,-
0.16391569423678956,2.249161908728913,2.19037851356619,5.6507524026
43452E-5]), a=1.2, v=0.25)
$ 14 "Sold2"
  move1(pose_trans(Base, p[0.09706931382114517,-
0.6143283301731132,-
0.1522383646318231,2.2491293539270463,2.190451522945624,7.689456399
941392E-5]), a=1.2, v=0.25)
$ 15 "Invocar PuntoSoldadura"
  PuntoSoldadura()
$ 16 "MoveL"
$ 17 "Aprox1Sold2"
  move1(pose_trans(Base, p[0.09705753811128731,-
0.6143389564226867,-
0.16391569423678956,2.249161908728913,2.19037851356619,5.6507524026
43452E-5]), a=1.2, v=0.25)
$ 18 "Aprox1Sold3"
  move1(pose_trans(Base, p[0.09702452380879686,-
0.7457245639391897,-
0.1639529555799058,2.2491989408493667,2.1904756761227664,5.2678861
291077426E-5]), a=1.2, v=0.25)
$ 19 "Sold3"
  move1(pose_trans(Base, p[0.09703877535320939,-
0.7457732186322507,-
0.15138850921879707,2.2492236237752135,2.190289544851261,-
8.55720105043863E-5]), a=1.2, v=0.25)
$ 20 "Invocar PuntoSoldadura"
  PuntoSoldadura()
$ 21 "MoveL"
$ 22 "Aprox1Sold3"
  move1(pose_trans(Base, p[0.09702452380879686,-
0.7457245639391897,-
0.1639529555799058,2.2491989408493667,2.1904756761227664,5.2678861
291077426E-5]), a=1.2, v=0.25)
$ 24 "Aprox2Sold4"
  move1(pose_trans(Base, p[0.0680246190579719,-0.8752881547103727,-
0.16401428695572984,2.249424929459859,2.1904211549493353,1.25011170
18294563E-4]), a=1.2, v=0.25, r=0.1)
$ 25 "Aprox3Sold4"
  move1(pose_trans(Base, p[0.22547047869854073,-
0.8344004150830299,-
```



## DISEÑO Y PROTOTIPADO DE HERRAMIENTAS DIDÁCTICAS PARA ROBOT COLABORATIVO

---

```
0.16399413702963025,0.05706193743744397,3.1397460027976707,-
0.0017909165905547874]), a=1.2, v=0.125)
$ 26 "Sold4"
  move1(pose_trans(Base, p[0.22549023770996587,-
0.8344374290511447,-
0.15058013563246953,0.05707976648600418,3.1396959031271736,-
0.0019235385831802721]), a=1.2, v=0.25)
$ 27 "Invocar PuntoSoldadura"
  PuntoSoldadura()
$ 28 "MoveL"
$ 29 "Aprox3Sold4"
  move1(pose_trans(Base, p[0.22547047869854073,-
0.8344004150830299,-
0.16399413702963025,0.05706193743744397,3.1397460027976707,-
0.0017909165905547874]), a=1.2, v=0.125)
$ 30 "Aprox1Sold5"
  move1(pose_trans(Base, p[0.3248620600646765,-0.8344213997833836,-
0.16207786952809464,0.05708384267326144,3.139781648125516,-
0.0019261196889741948]), a=1.2, v=0.25)
$ 31 "Sold5"
  move1(pose_trans(Base, p[0.32490243370577787,-
0.8344301052590206,-
0.1499807709170542,0.05691277420497742,3.1396921894117837,-
0.0019931152124017366]), a=1.2, v=0.25)
$ 32 "Invocar PuntoSoldadura"
  PuntoSoldadura()
$ 33 "MoveL"
$ 34 "Aprox1Sold5"
  move1(pose_trans(Base, p[0.3248620600646765,-0.8344213997833836,-
0.16207786952809464,0.05708384267326144,3.139781648125516,-
0.0019261196889741948]), a=1.2, v=0.25)
$ 35 "Aprox2Sold4"
  move1(pose_trans(Base, p[0.0680246190579719,-0.8752881547103727,-
0.16401428695572984,2.249424929459859,2.1904211549493353,1.25011170
18294563E-4]), a=1.2, v=0.25, r=0.1)
$ 36 "Aprox2Sold1"
  move1(pose_trans(Base, p[0.071873331749499,-0.4718701471689055,-
0.16389479085419748,2.2490747262509907,2.1903633290467273,6.4211136
03797021E-5]), a=1.2, v=0.25)
$ 37 "Aprox1Sold1"
  move1(pose_trans(Base, p[0.07189311683204003,-
0.4718442700243385,0.21308076275264756,2.249057495341457,2.19037380
2858772,1.4237768471506932E-4]), a=1.2, v=0.25, r=0.15)
$ 39 "Aprox0Sold6"
  move1(pose_trans(Base, p[-0.17168911237739337,-
0.9017152537984426,0.2111476299015744,1.6771265620799798,1.76848689
85995637,-0.737554565410472]), a=1.2, v=0.125)
$ 40 "Aprox1Sol6"
  move1(pose_trans(Base, p[-0.17128007733916079,-
0.8077357321985991,0.265827666358024,-
0.025142038856404515,2.206008635780547,-2.137489857407062]), a=1.2,
v=0.25)
$ 41 "Aprox2Sold6"
  move1(pose_trans(Base, p[-0.1715315232529904,-
0.7860407923028403,0.19793447110631868,0.02555717652448063,-
2.2626358881289446,2.174430750249028]), a=1.2, v=0.25)
$ 42 "Aprox3Sold6"
```

## DISEÑO Y PROTOTIPADO DE HERRAMIENTAS DIDÁCTICAS PARA ROBOT COLABORATIVO

---

```
    movel(pose_trans(Base, p[-0.17151712340672026,-
0.7916309005802991,0.027528080884656136,0.0256362040327208,-
2.262867603420212,2.1740481454581406]), a=1.2, v=0.25)
$ 43 "Sold6"
    movel(pose_trans(Base, p[-0.1714602323151976,-
0.7812199921907862,0.026145356011945394,0.02564390446771527,-
2.262821226340506,2.173952803633323]), a=1.2, v=0.25)
$ 44 "Invocar PuntoSoldadura"
    PuntoSoldadura()
$ 45 "MoveL"
$ 46 "Aprox3Sold6"
    movel(pose_trans(Base, p[-0.17151712340672026,-
0.7916309005802991,0.027528080884656136,0.0256362040327208,-
2.262867603420212,2.1740481454581406]), a=1.2, v=0.25)
$ 47 "Aprox1Sold7"
    movel(pose_trans(Base, p[-0.3524900897047173,-
0.7915476191723745,0.027375925297780476,0.025475807775259762,-
2.262739198039059,2.174013956244527]), a=1.2, v=0.25)
$ 48 "Sold7"
    movel(pose_trans(Base, p[-0.3525363135267788,-
0.7800159433226698,0.027343316583274546,0.02562999600361863,-
2.2626969471118707,2.174122016625037]), a=1.2, v=0.25)
$ 49 "Invocar PuntoSoldadura"
    PuntoSoldadura()
$ 50 "MoveL"
$ 51 "Aprox1Sold7"
    movel(pose_trans(Base, p[-0.3524900897047173,-
0.7915476191723745,0.027375925297780476,0.025475807775259762,-
2.262739198039059,2.174013956244527]), a=1.2, v=0.25)
$ 52 "Aprox1Reposo"
    movel(pose_trans(Base, p[-0.35256015959455644,-
0.783250048002371,0.32161846822174694,0.025368267460499434,-
2.262960416360767,2.173892535298175]), a=1.2, v=0.25)
$ 53 "Aprox2Reposo"
    movel(pose_trans(Base, p[-0.3526008110292733,-
0.7832444844964905,0.3215333320619649,1.7383140717991985,1.74112254
40603764,-0.7931083373221218]), a=1.2, v=0.25)
$ 54 "Aprox3Reposo"
    movel(pose_trans(Base, p[-0.35296716931854016,-
0.6518742262721122,0.3212639207770063,2.461540491035636,0.918753653
5372831,-0.19956252690438167]), a=1.2, v=0.25, r=0.07)
$ 55 "Reposo"
    movel(pose_trans(Base, p[-0.14220131991822174,-
0.6598511485313663,0.28018196734553896,-3.1415685843563814,-
5.499742329059667E-6,3.741721698525668E-5]), a=1.2, v=0.25,
r=0.142)
$ 56 "Test"
    movel(pose_trans(Base, p[-0.14218539042742145,-
0.6598668401096072,0.22350505540092372,3.1415295638507206,-
3.194960831004295E-5,3.112461587121468E-5]), a=1.2, v=0.25)
$ 57 "Esperar: 3.0"
    sleep(3.0)
end
```



### Pistola de soldadura

Para probar esta herramienta se colocó dos perfiles colocados horizontalmente en distintas alturas para que el robot siguiera una trayectoria rectilínea de soldadura uniforme. El recorrido empezaba en el perfil de mayor altura, lo seguía entero de derecha a izquierda, hacia un movimiento de bajada hasta el siguiente perfil y finalmente recorría todo el perfil inferior en trayectoria rectilínea:

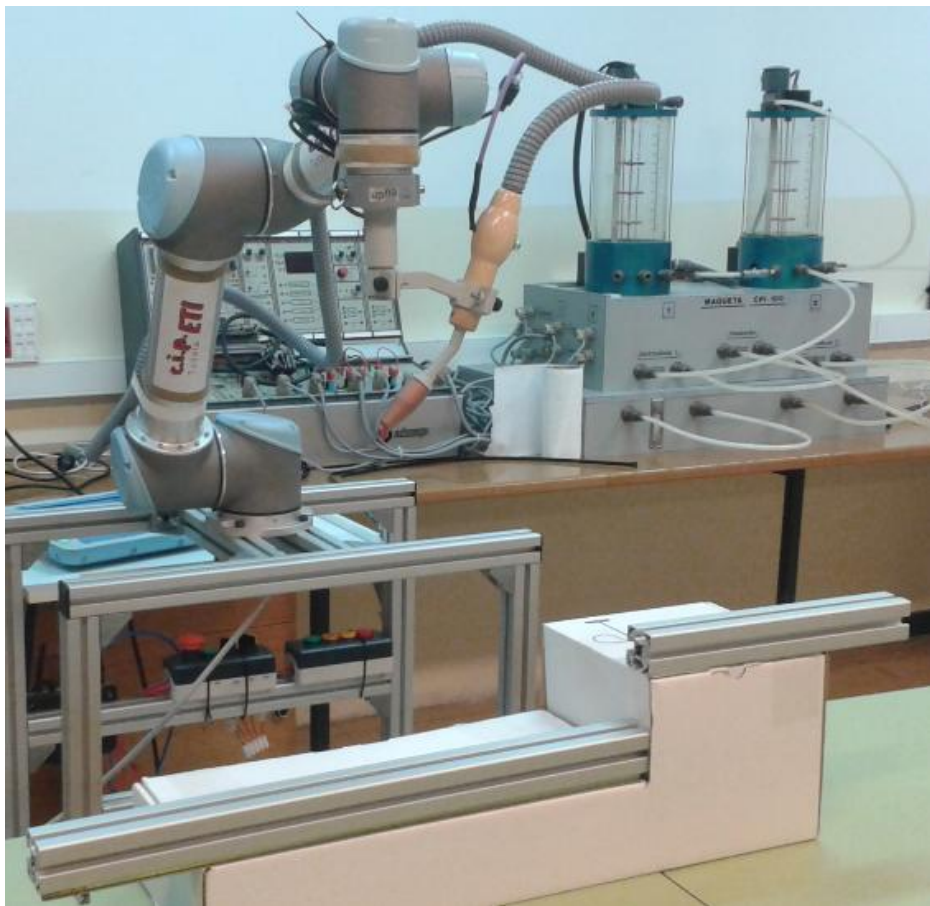


Ilustración 13.5 Descripción de la prueba de la pistola

El resumen del programa creado para ello es el siguiente:

- Programa
  - Programa de robot
    - MoveJ
    - Reposo
    - Aprox1

MoveL  
Sold1  
Ajustar TO[0]=Encender  
MoveL  
Sold2  
Ajustar TO[0]=Apagar  
MoveL  
AproxSold3  
Sold3  
Ajustar TO[0]=Encender  
MoveL  
Sold4  
Sold5  
Ajustar TO[0]=Apagar  
MoveL  
AproxReposo  
MoveJ  
Reposo

El programa traducido al robot es:

```
def pistola_sold():  
    set_standard_analog_input_domain(0, 1)  
    set_standard_analog_input_domain(1, 1)  
    set_tool_analog_input_domain(0, 1)  
    set_tool_analog_input_domain(1, 1)  
    set_analog_outputdomain(0, 0)  
    set_analog_outputdomain(1, 0)  
    set_tool_voltage(24)  
    set_standard_digital_input_action(0, "default")  
    set_standard_digital_input_action(1, "default")  
    set_standard_digital_input_action(2, "default")  
    set_standard_digital_input_action(3, "default")  
    set_standard_digital_input_action(4, "default")  
    set_standard_digital_input_action(5, "default")  
    set_standard_digital_input_action(6, "default")  
    set_standard_digital_input_action(7, "default")  
    set_tool_digital_input_action(0, "default")  
    set_tool_digital_input_action(1, "default")  
    set_tcp(p[0.0,0.0,0.248,0.0,0.0,0.0])  
    set_payload(0.4)  
    set_gravity([0.0, 0.0, 9.82])  
    global Base=p[0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0]  
    while (True):  
        $ 1 "Programa de robot"
```

## DISEÑO Y PROTOTIPADO DE HERRAMIENTAS DIDÁCTICAS PARA ROBOT COLABORATIVO

---

```
$ 2 "MoveJ"
$ 3 "Reposo"
movej([-1.6244273285447086, -2.0483173875883303, -
0.8111834597708087, -1.853400009038591, 1.5780746212013081,
3.0869485552818285], a=1.3962634015954636, v=1.0471975511965976)
$ 4 "Aprox1"
movej([-0.8036441117169986, -2.26165229136838, -
1.2791826067193455, -0.7223108464254402, 0.6930590093561503,
4.38990969754267], a=1.3962634015954636, v=1.0471975511965976)
$ 5 "MoveL"
$ 6 "Sold1"
movel(pose_trans(Base, p[0.30001951924410813,-
0.8346133068389451,0.08890308834432115,2.056017434359149,-
0.7446232833556287,-0.12484798803150747]), a=1.2, v=0.075)
$ 7 "Ajustar TO[0]=Encender"
set_tool_digital_out(0, True)
$ 8 "MoveL"
$ 9 "Sold2"
movel(pose_trans(Base, p[0.009411582559144968,-
0.8278481127084997,0.08664827841914588,2.056012424593624,-
0.7447808723373416,-0.12461453539119481]), a=1.2, v=0.035)
$ 10 "Ajustar TO[0]=Apagar"
set_tool_digital_out(0, False)
$ 11 "MoveL"
$ 12 "AproxSold3"
movel(pose_trans(Base, p[0.00667672534314467,-
0.8271887421027531,0.0804617167704507,1.1132344455408258,-
2.236094354066118,0.9975373342210898]), a=1.2, v=0.25)
$ 13 "Sold3"
movel(pose_trans(Base, p[0.006695136992381629,-
0.827183314938927,0.07231106863694262,1.1132613254094674,-
2.2360387786687124,0.9976019293868928]), a=1.2, v=0.25)
$ 14 "Ajustar TO[0]=Encender"
set_tool_digital_out(0, True)
$ 15 "MoveL"
$ 16 "Sold4"
movel(pose_trans(Base, p[0.006639774092848154,-
0.8237824831175382,-0.013873988746348842,1.1132393084132555,-
2.236096490581038,0.9974411571070987]), a=1.2, v=0.035)
$ 17 "Sold5"
movel(pose_trans(Base, p[-0.5555468616105812,-
0.8196176580352351,-0.020406936015462285,1.1134933821688096,-
2.235764991453196,0.9974346276133425]), a=1.2, v=0.035)
$ 18 "Ajustar TO[0]=Apagar"
set_tool_digital_out(0, False)
$ 19 "MoveL"
$ 20 "AproxReposo"
movel(pose_trans(Base, p[-0.555480875344168,-
0.8196354401658253,0.006736547413442329,1.1134123867444037,-
2.236009783773586,0.9976354472415826]), a=1.2, v=0.25)
$ 21 "MoveJ"
$ 22 "Reposo"
movej([-1.6244273285447086, -2.0483173875883303, -
0.8111834597708087, -1.853400009038591, 1.5780746212013081,
3.0869485552818285], a=1.3962634015954636, v=1.0471975511965976)
end
end
```



## 14. Anexo 5, Planos eléctricos

### Conexión general

En este apartado se va a describir como se ha realizado el conexionado eléctrico de las herramientas. Primeramente, en el lado de la herramienta del robot hay un pequeño conector con ocho clavijas:

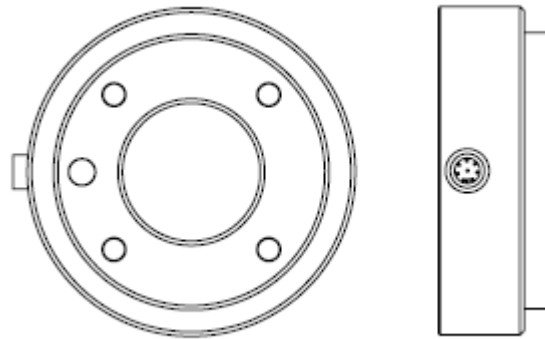


Ilustración 14.1 Ubicación del conector (Universal Robots, 2015)

Dicho conector va a suministrar señales de alimentación y control para las herramientas utilizadas. El cable que se ha utilizado es el cable recomendado por Universal robots de REF: Lumberg RKMV 8-534 y es el que se muestra a continuación:

## DISEÑO Y PROTOTIPADO DE HERRAMIENTAS DIDÁCTICAS PARA ROBOT COLABORATIVO



Ilustración 14.2 Cable Lumberg RKMV 8-354

Los ocho hilos del interior del cable tienen diferentes colores. Los diferentes colores indican diferentes funciones, en la siguiente tabla está asociada la columna “Uso” con el color correspondiente en la columna “Brida”:

Tabla 14.1 Conexionado eléctrico de las herramientas

Uso	Brida	Cable UTP (B)	Bastidor ventosas		Pistola soldadura	Pinza soldadura por puntos	
Masa (0V)	Rojo	Azul (4)	-	Azul (vacuostato)	-	-	-
24V (configurar)	Gris	Naranja (2)	Rojo (EV)	Marrón (vacuostato)	Rojo (LED)	Rojo (EV)	Marrón (Reed)
DO8 (masa)	Azul	Verde (6)	Negro (EV)	-	Negro (LED)	Negro (EV)	-
DO9 (masa)	Rosa	Blanco verde (3)	-	-	-	-	-
DI8	Amarillo	Blanco naranja (1)	-	Negro (vacuostato)	-	-	Azul (Reed)
DI9	Verde	Blanco marrón (7)	-	-	-	-	-
AI2	Blanco	Blanco azul (5)	-	-	-	-	-
AI3	Marrón	Marrón (8)	-	-	-	-	-

Al cable RKMV 8-354, en su otro extremo, se le ha soldado un conector RJ-45 hembra con la configuración tipo “B” y con la asociación de colores que señala la tabla anterior en la columna “Cable UTP”. Esto se ha realizado con motivo de conectar los elementos eléctricos que poseen las

herramientas a un conector RJ-45 macho. Es decir, cada herramienta tiene un conector RJ-45 macho tal y como se muestra a continuación:



Ilustración 14.3 Pistola de soldadura con conector macho RJ-45 soldado

De esta manera se consigue que el conexionado y desconexión de las herramientas a la hora cambiarlas sea lo más rápido posible. El conector hembra queda agarrado a la muñeca del robot y la conexión entre ambos queda en un lateral de la herramienta acoplada en el robot:

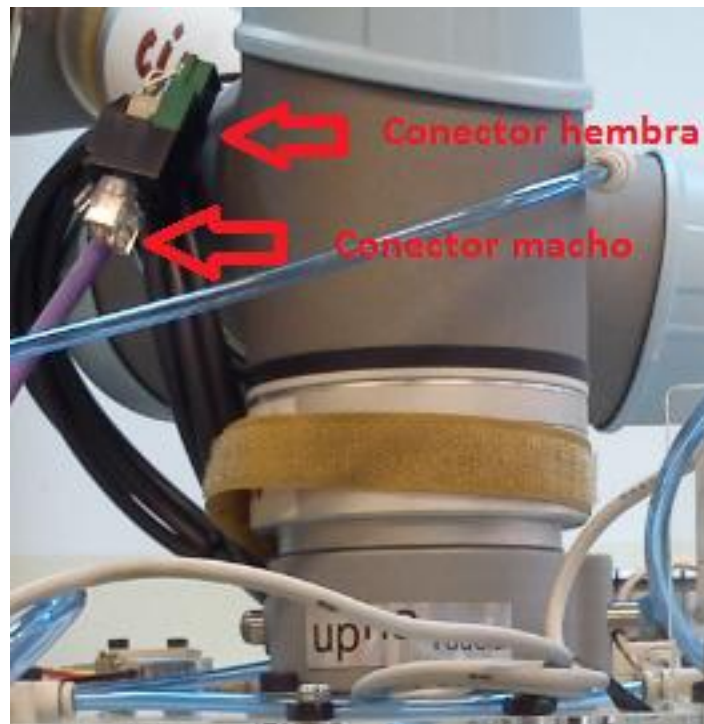


Ilustración 14.4 Conexión eléctrica de herramienta

En este caso, todos los elementos eléctricos que se han conectado corresponden a una entrada o salida digital, es decir, están a “0” ó están a “1”. Para entender el conexionado que se ha realizado, se muestra un ejemplo de cómo activar una carga al usar la fuente de alimentación interna del robot de 24V con el conector Lumberg RKMV 8:

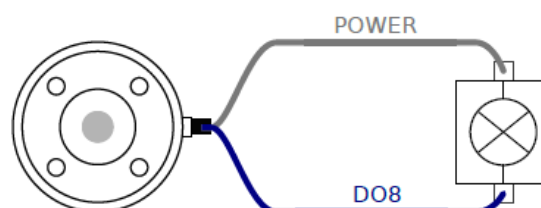


Ilustración 14.5 Conexionado de una salida digital al robot (Universal Robots, 2015)

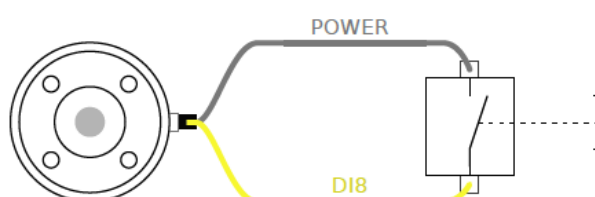


Ilustración 14.6 Conexionado de una entrada digital al robot (Universal Robots, 2015)



Como muestran las ilustraciones anteriores, en la tabla 26, en la columna “Uso” los recuadros que empiezan por “DO” son salidas digitales y las “DI” son entradas digitales. Las “AI” son entradas analógicas, que en este caso no se ha necesitado ninguna.

A continuación se explica cómo se ha de conectar los elementos eléctricos de cada herramienta al conector macho RJ-45.

### Conexionado del bastidor de ventosas

En el bastidor de ventosas tenemos dos elementos a conectar que son:

- Electroválvula 3/2: Posee 2 hilos, uno rojo y otro negro no polarizado. El elemento corresponde a una salida digital, entonces tal como señala la tabla 26, el cable rojo de la electroválvula se le ha asignado los 24V de la columna “Uso” y el cable negro a la salida “D08”.

- Vacuostato: Posee 3 hilos, uno marrón, uno azul y otro negro. El elemento está polarizado y corresponde a una entrada digital, por lo tanto el conexionado se ha realizado según señala la empresa fabricante SMC:

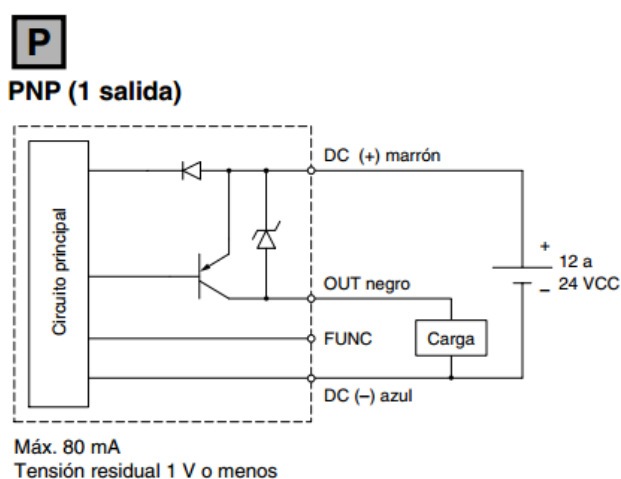


Ilustración 14.7 Conexionado del vacuostato (SMC, 2015)

Como se ve en la anterior ilustración, el cable marrón se le ha asignado los 24V, el azul el 0V y el cable negro a la entrada digital “DI8”.

### Conexionado de la pistola de soldadura

En la pistola de soldadura se tiene un único elemento a conectar que es:

- Piloto de señalización LED: Posee 2 hilos, uno rojo y otro negro. El elemento está polarizado y corresponde a una salida digital, entonces tal como señala la tabla 26, el cable rojo del LED se le ha asignado los 24V de la columna “Uso” y el cable negro a la salida “D08”.

### Conexionado de la pinza de soldadura por resistencia

En la pinza de soldadura se tienen dos elementos a conectar que son:

- Electroválvula 5/2: Posee 2 hilos, uno rojo y otro negro. El elemento no está polarizado y corresponde a una salida digital, entonces tal como señala la tabla 26, el cable rojo del LED se le ha asignado los 24V de la columna “Uso” y el cable negro a la salida “D08”.

- Detector de posición: Posee 2 hilos, uno marrón y otro azul. El elemento está polarizado y corresponde a una entrada digital, por lo tanto el conexionado se ha realizado según señala la empresa fabricante SMC:

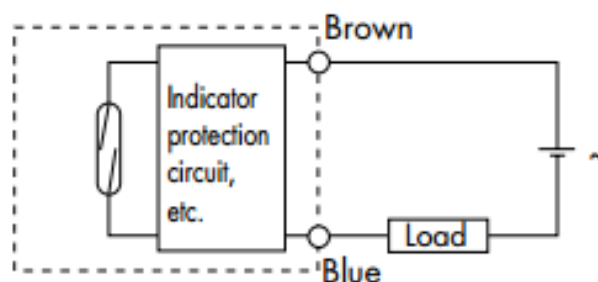


Ilustración 14.8 Conexionado del detector de posición (SMC, 2015)

### Planos eléctricos

En este punto se muestran los distintos planos eléctricos tanto del propio robot como del conexionado de las herramientas.

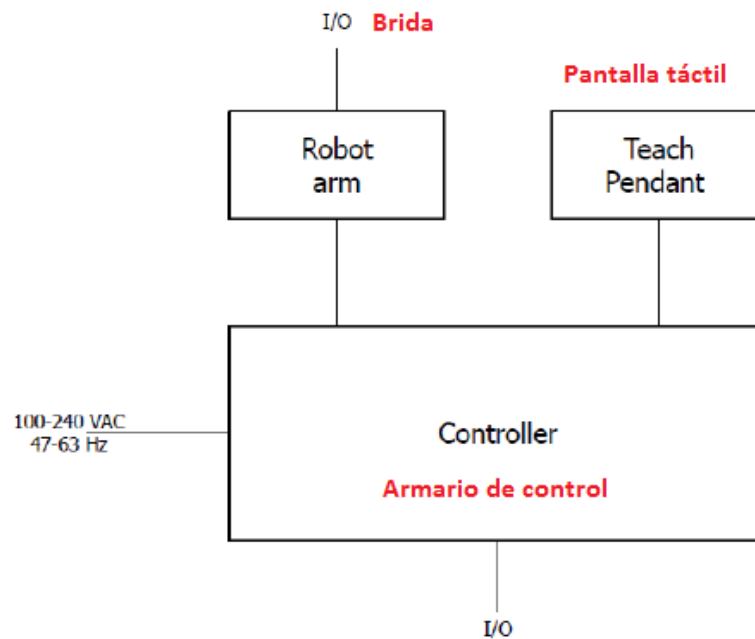


Ilustración 14.9 Plano eléctrico general del robot UR5 (Universal Robots, 2015)

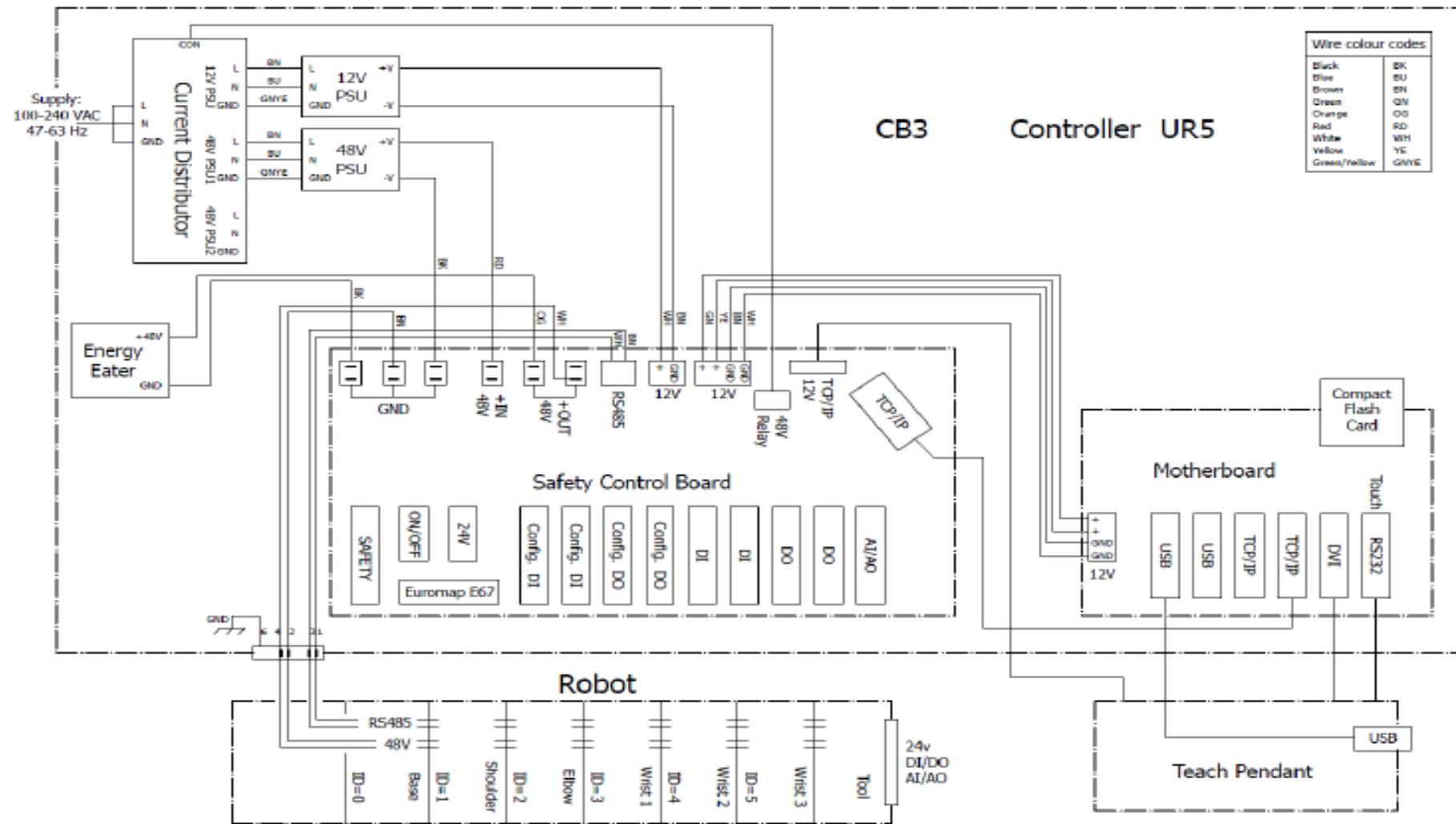


Ilustración 14.10 Plano eléctrico completo del controlador del robot (Universal Robots, 2015)

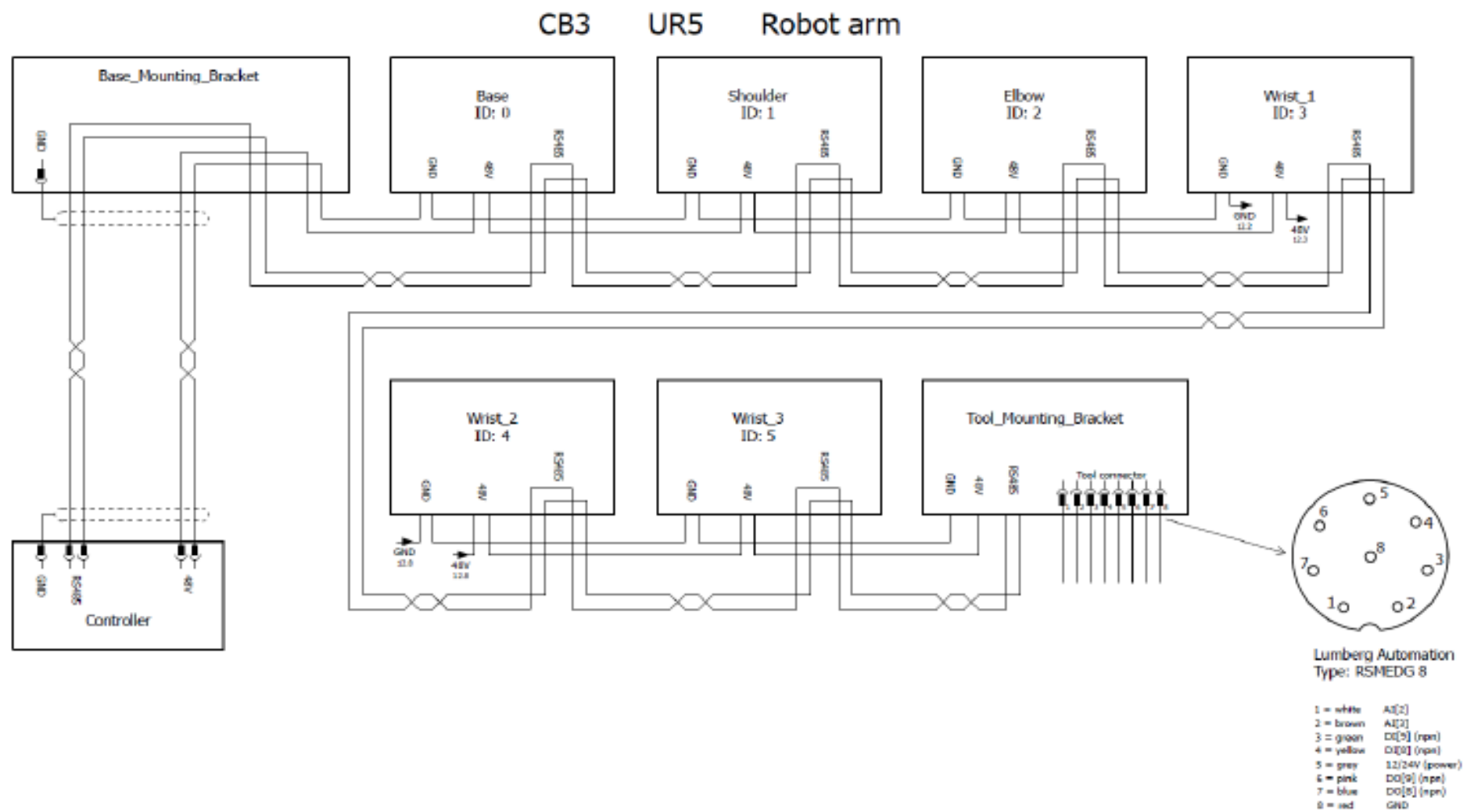
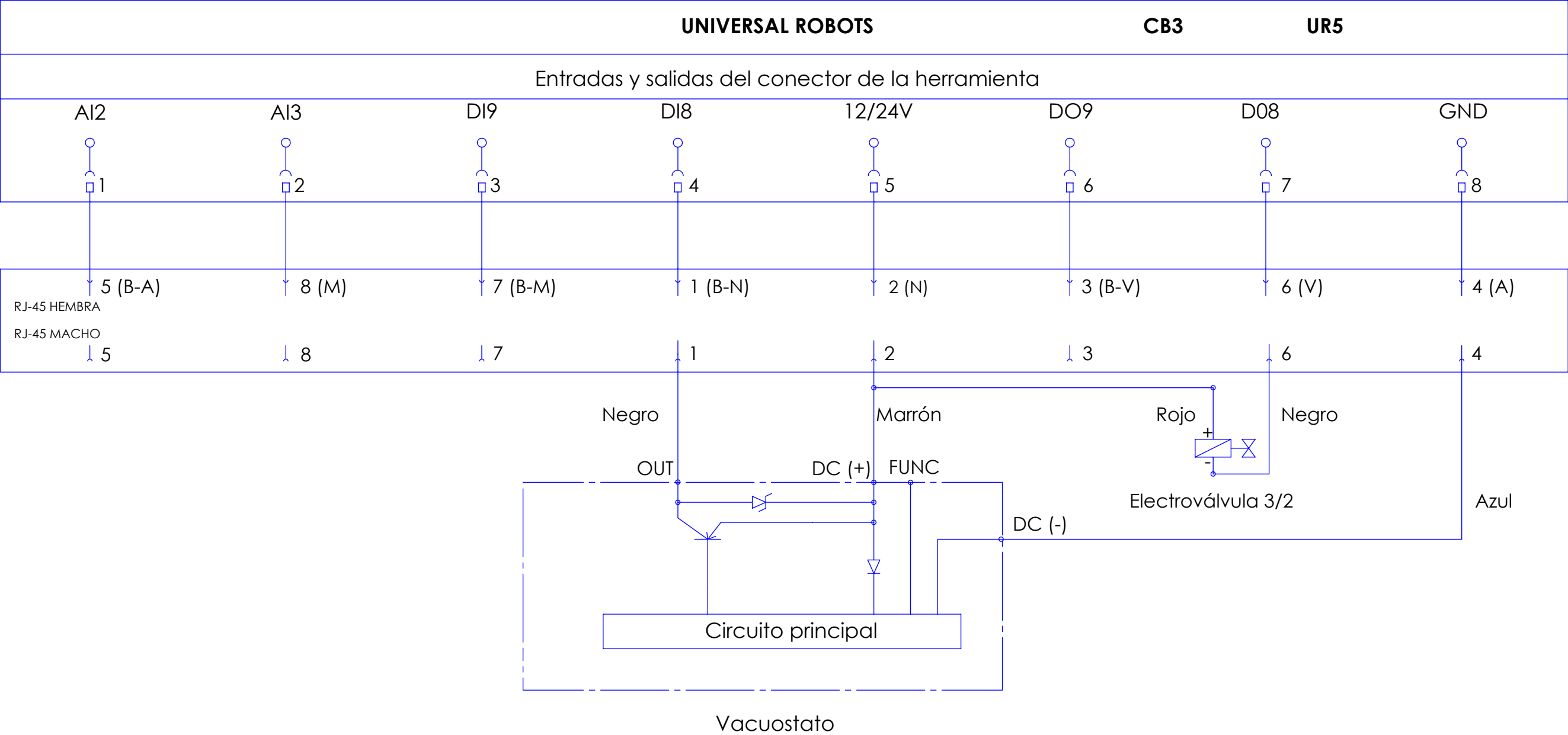


Ilustración 14.11 Plano eléctrico del brazo robótico (Universal Robots, 2015)



Universidad Pública de navarra  
*Unibersitate Nafarroako Publikoa*

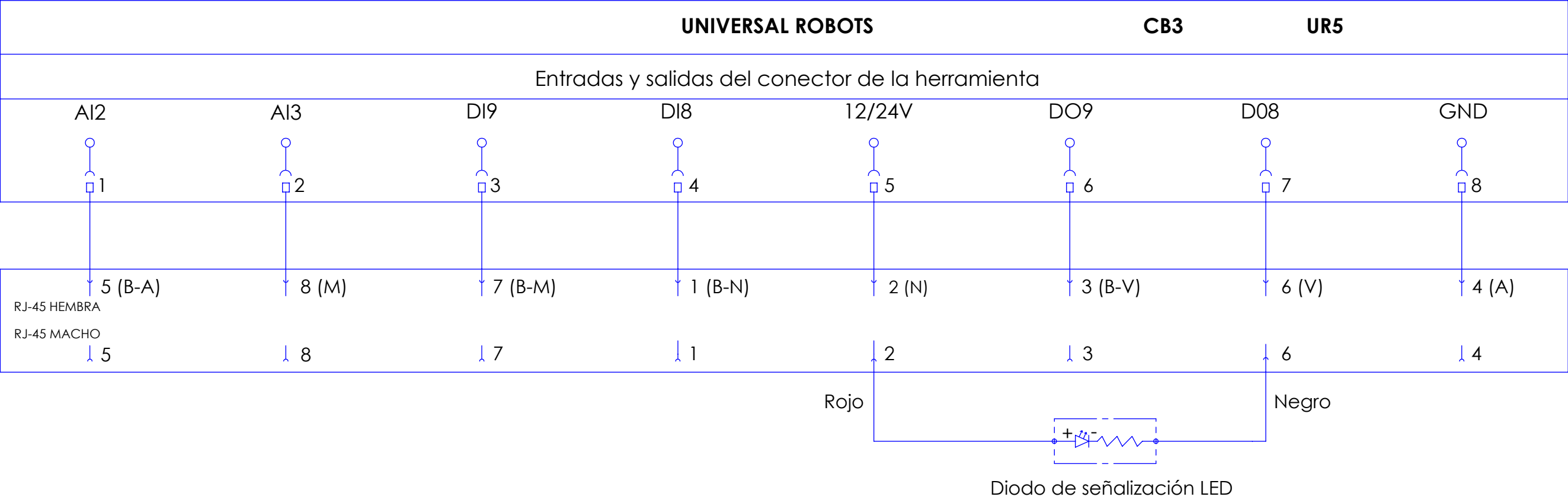
Realizado por:  
**HUGO ROYO BARTOS**

Proyecto:  
**DISEÑO Y PROTOTIPADO DE HERRAMIENTAS  
DIDÁCTICAS PARA ROBOT COLABORATIVO**

Firma:

Plano eléctrico: **Bastidor de ventosas**

Fecha	Escala	Nº Plano
09/02/16		1



Universidad Pública de navarra  
Unibersitate Nafarroako Publikoa

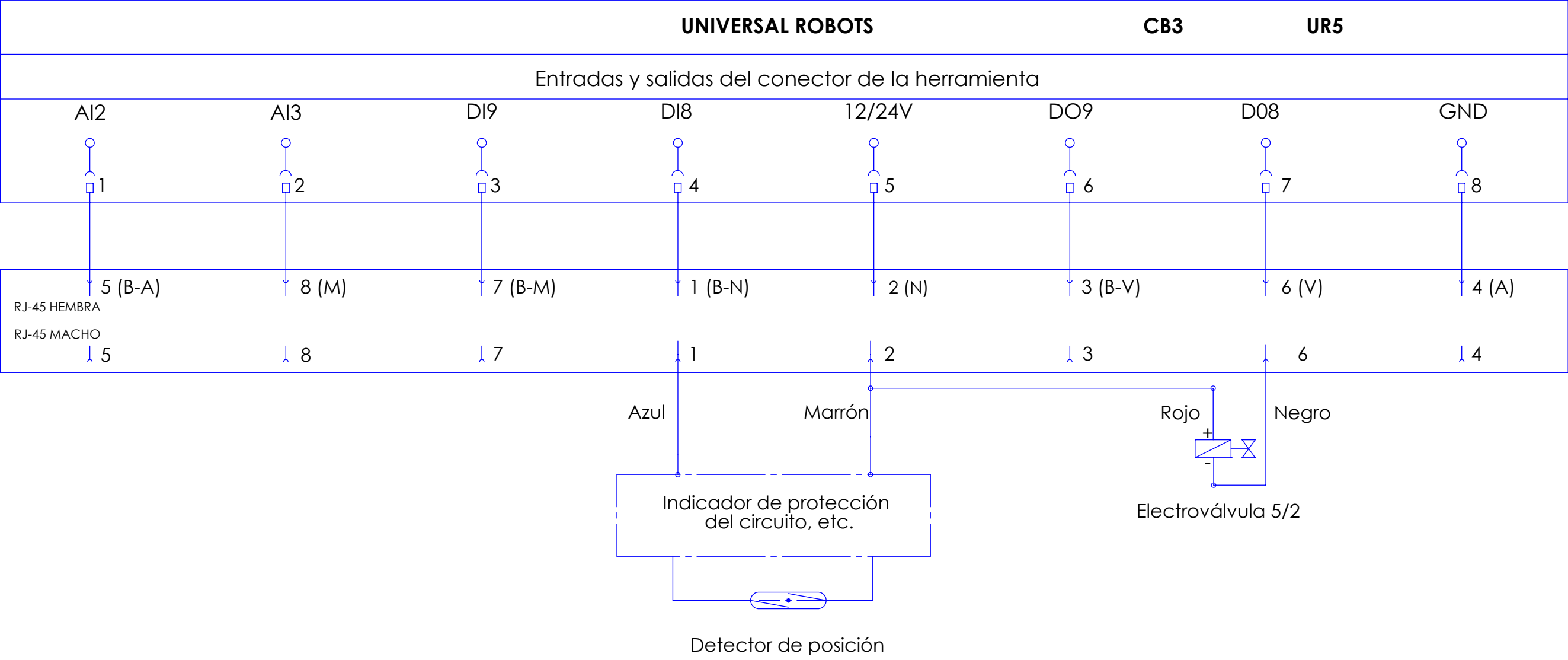
Realizado por:  
**HUGO ROYO BARTOS**

Proyecto:  
**DISEÑO Y PROTOTIPADO DE HERRAMIENTAS  
DIDÁCTICAS PARA ROBOT COLABORATIVO**

Firma:

Plano eléctrico: **Pistola de soldadura**

Fecha	Escala	Nº Plano
09/02/16		2



Universidad Pública de navarra  
*Unibersitate Nafarroako Publikoa*

Realizado por:  
**HUGO ROYO BARTOS**

Proyecto:  
**DISEÑO Y PROTOTIPADO DE HERRAMIENTAS  
DIDÁCTICAS PARA ROBOT COLABORATIVO**

Firma:

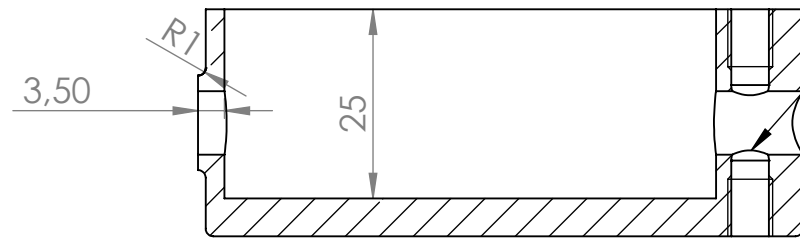
Plano eléctrico: **Pinza de soldadura**

Fecha	Escala	Nº Plano
09/02/16		3

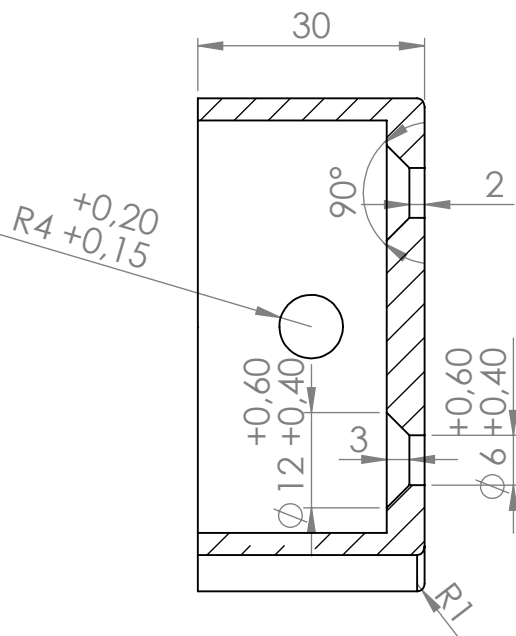


## **15. Anexo 6, Planos mecánicos**

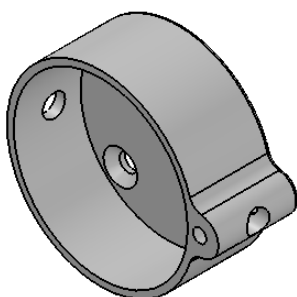
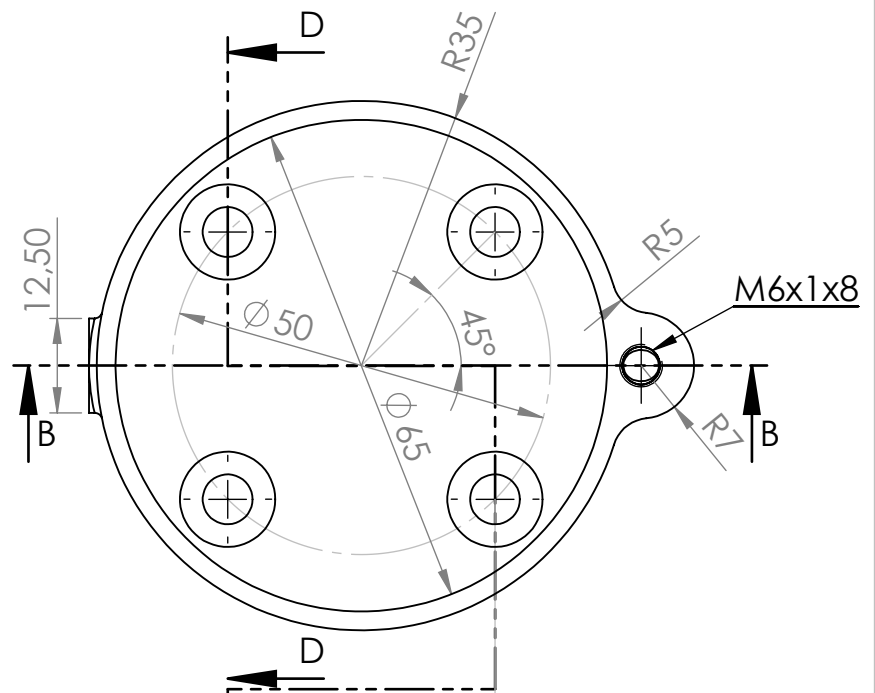
Rbola= 2,5  
Prof. máx = 1/3 de D de bola



SECCIÓN B-B



SECCIÓN D-D



Universidad Pública  
de Navarra  
Nafarroako  
Unibertsitate Publikoa

E.T.S.I.I.T

MATERIAL:

**POLIAMIDA PA 2200**

Proyecto:

**Diseño y prototipado de herramientas didácticas  
para robot colaborativo**

Realizado por :

**ROYO BARTOS,HUGO**

Firma

Plano:

**Brida**

Fecha

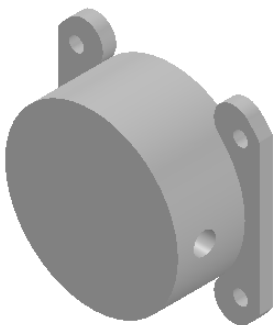
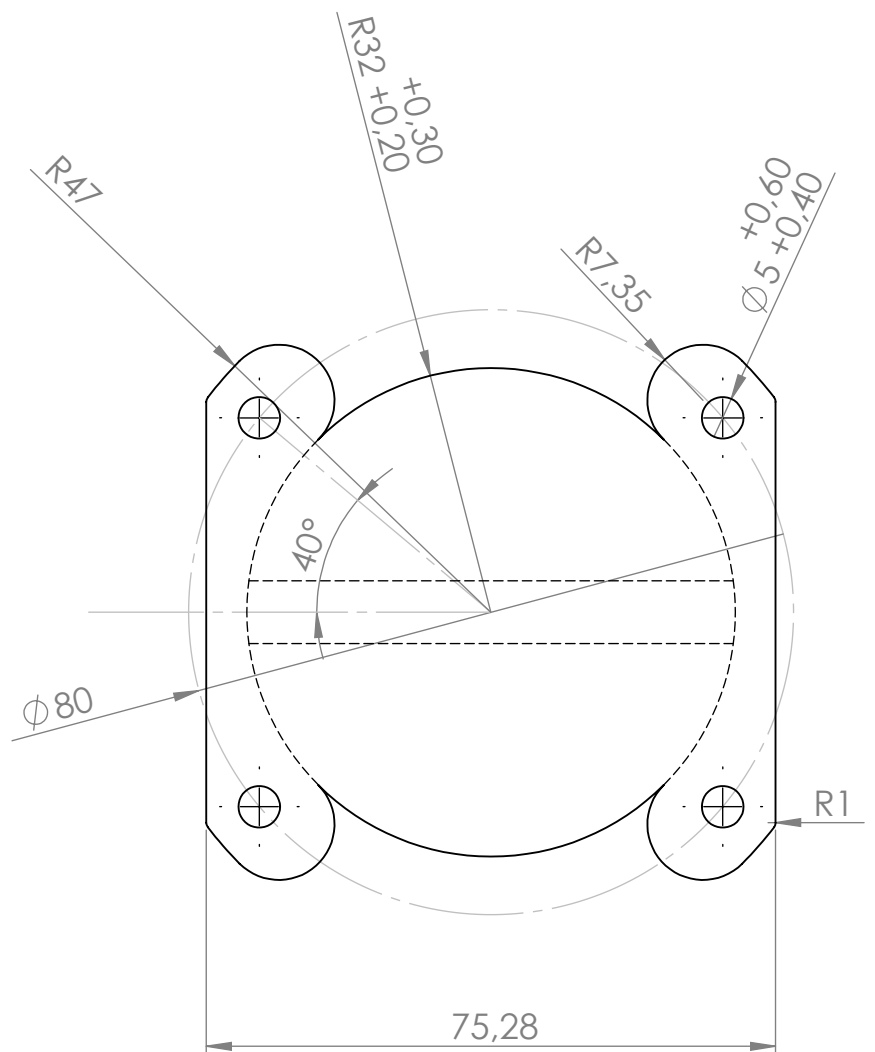
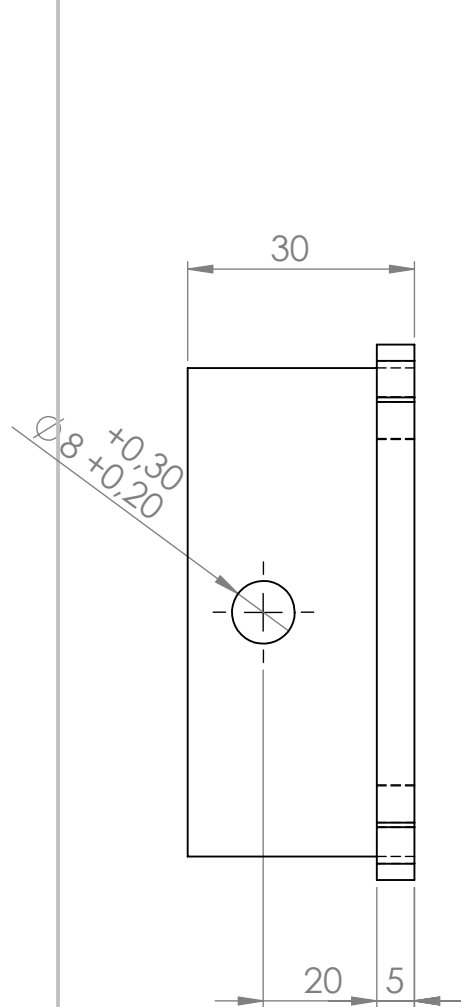
30/10/15

Escala

1:1

Nº Plano

1



Universidad Pública  
de Navarra  
Nafarroako  
Unibertsitate Publikoa

E.T.S.I.I.T

MATERIAL:

**POLIAMIDA PA 2200**

Proyecto:

**Diseño y prototipado de herramientas didácticas  
para robot colaborativo**

Realizado por :

**ROYO BARTOS, HUGO**

Firma

Plano:

**Agarre a brida**

Fecha

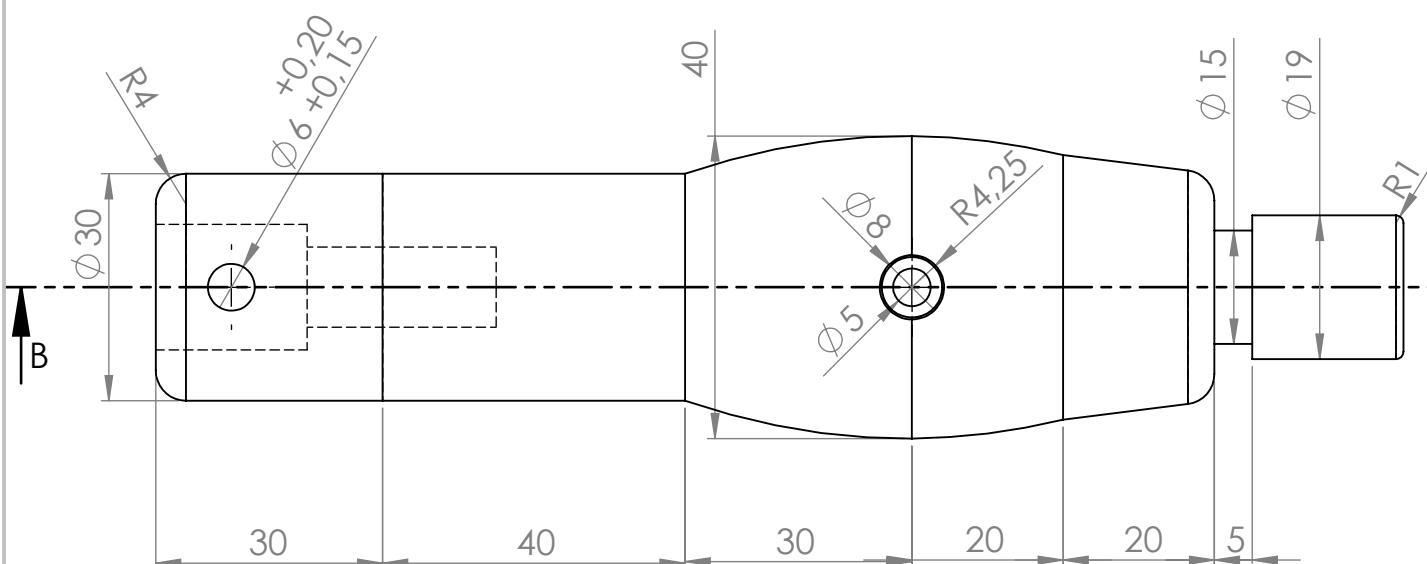
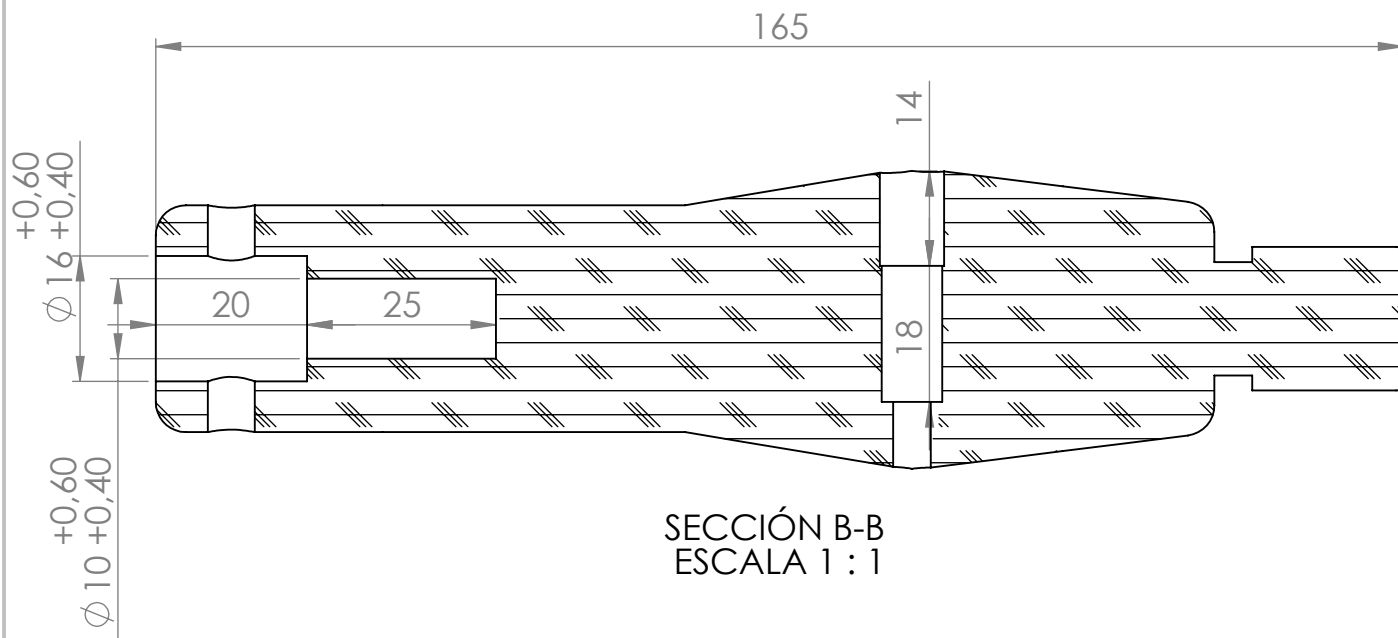
19/10/15

Escala

1:1

Nº Plano

2



Universidad Pública  
de Navarra  
Nafarroako  
Unibertsitate Publikoa

E.T.S.I.I.T

MATERIAL:

**MADERA DE FRESNO**

Proyecto:

Diseño y prototipado de herramientas didácticas  
para robot colaborativo

Realizado por :

**ROYO BARTOS, HUGO**

Firma

Plano:

**MANGO PISTOLA**

Fecha

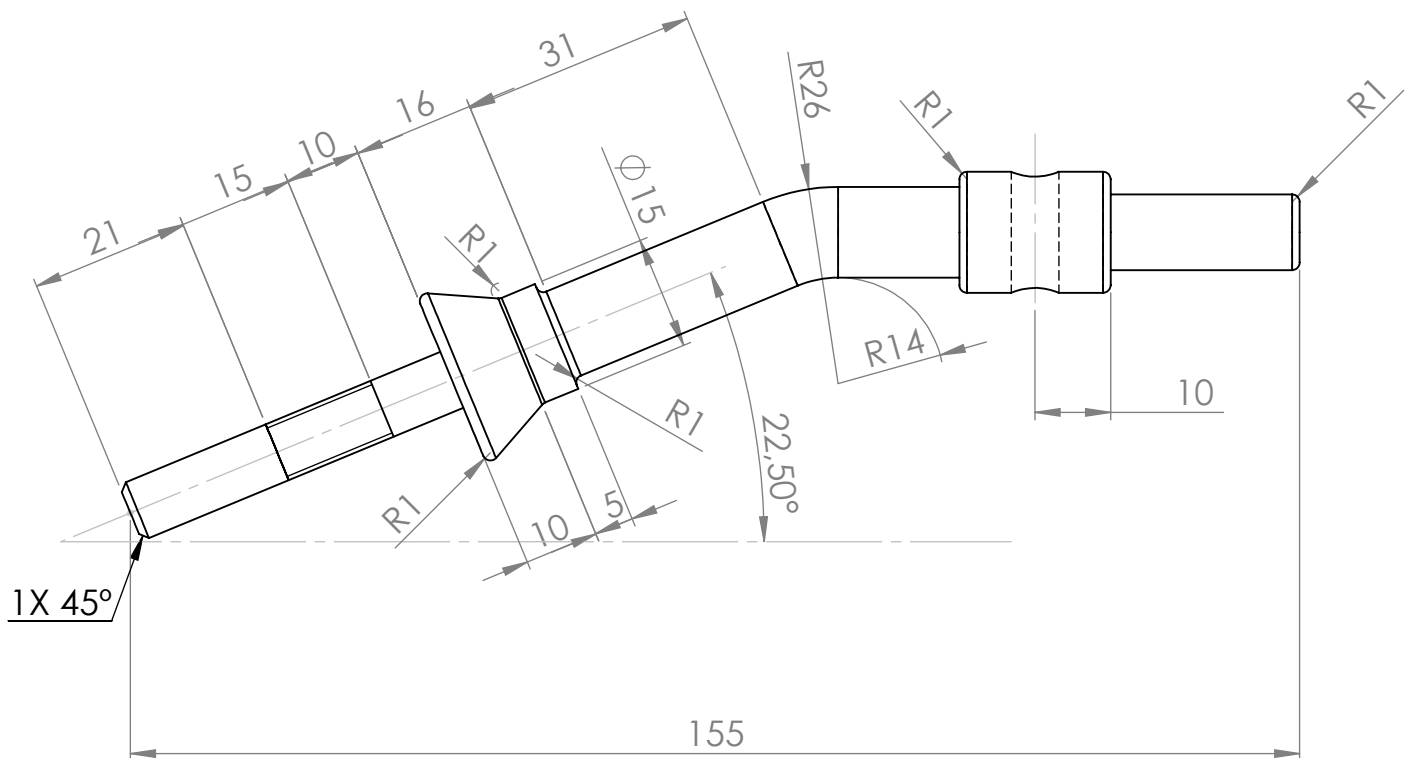
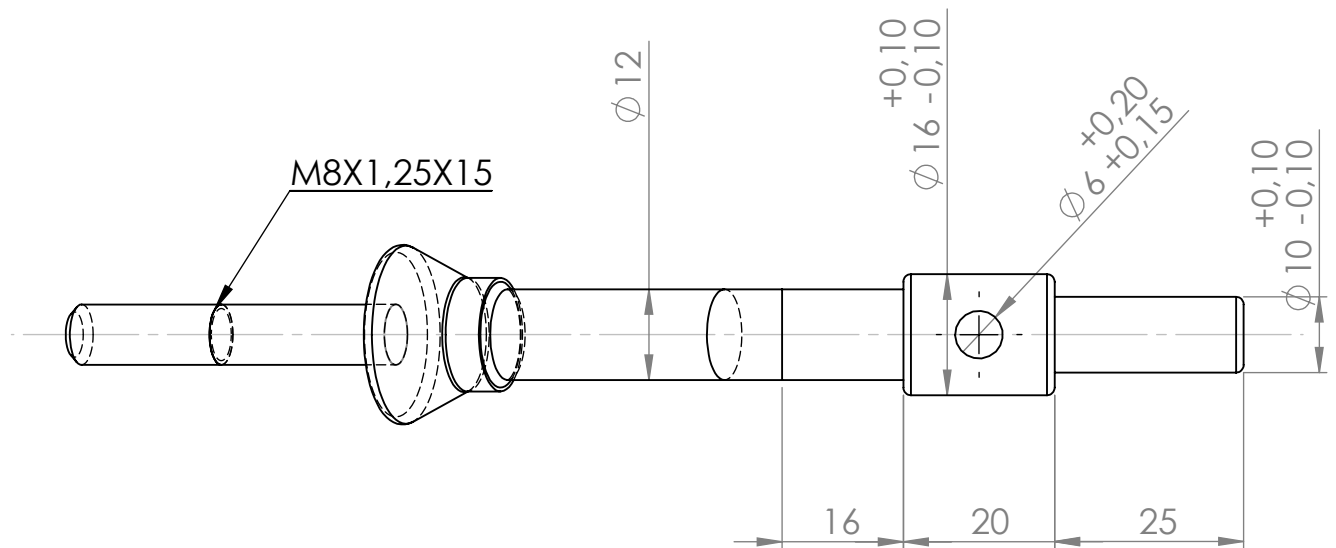
18/11/15

Escala

1:1

Nº Plano

3



Universidad Pública  
de Navarra  
Nafarroako  
Unibertsitate Publikoa

E.T.S.I.I.T

MATERIAL:

**POLIAMIDA PA 2200**

Proyecto:

**Diseño y prototipado de herramientas didácticas  
para robot colaborativo**

Realizado por :

**ROYO BARTOS, HUGO**

Firma

Plano:

**Tubo conductor**

Fecha

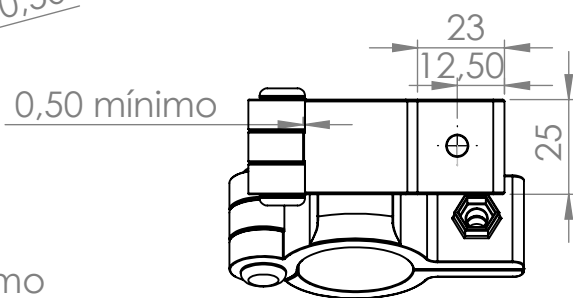
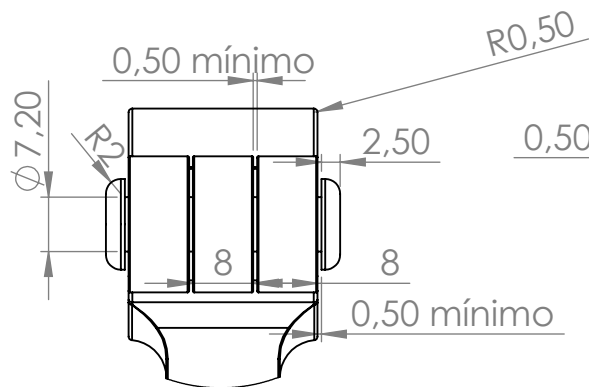
19/11/15

Escala

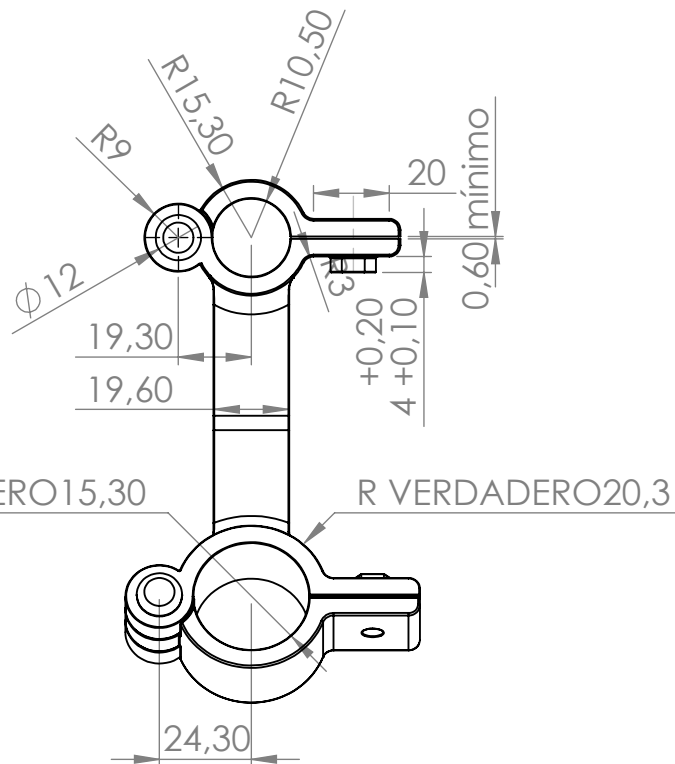
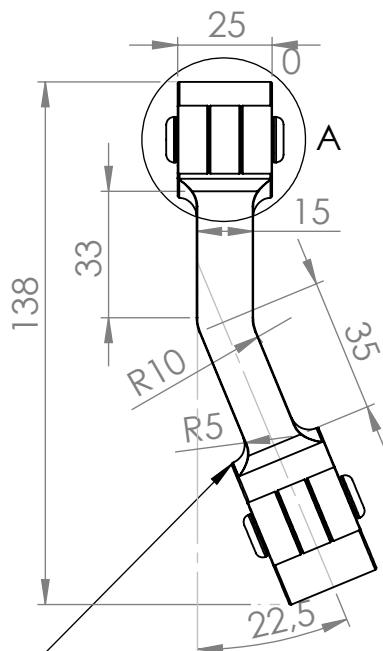
1:1

Nº Plano

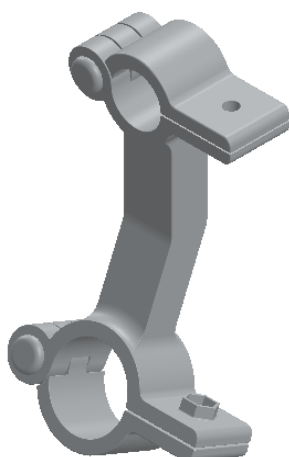
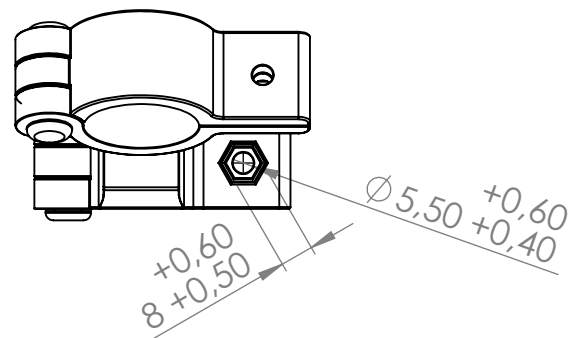
4



DETALLE A  
ESCALA 1 : 1



Todas aristas matadas con R=0,5



Universidad Pública  
de Navarra  
Nafarroako  
Unibertsitate Publikoa

E.T.S.I.I.T

MATERIAL:

**POLIAMIDA PA 2200**

Proyecto:

**Diseño y prototipado de herramientas didácticas  
para robot colaborativo**

Realizado por :

**ROYO BARTOS, HUGO**

Firma

Plano:

**Soporte**

Fecha

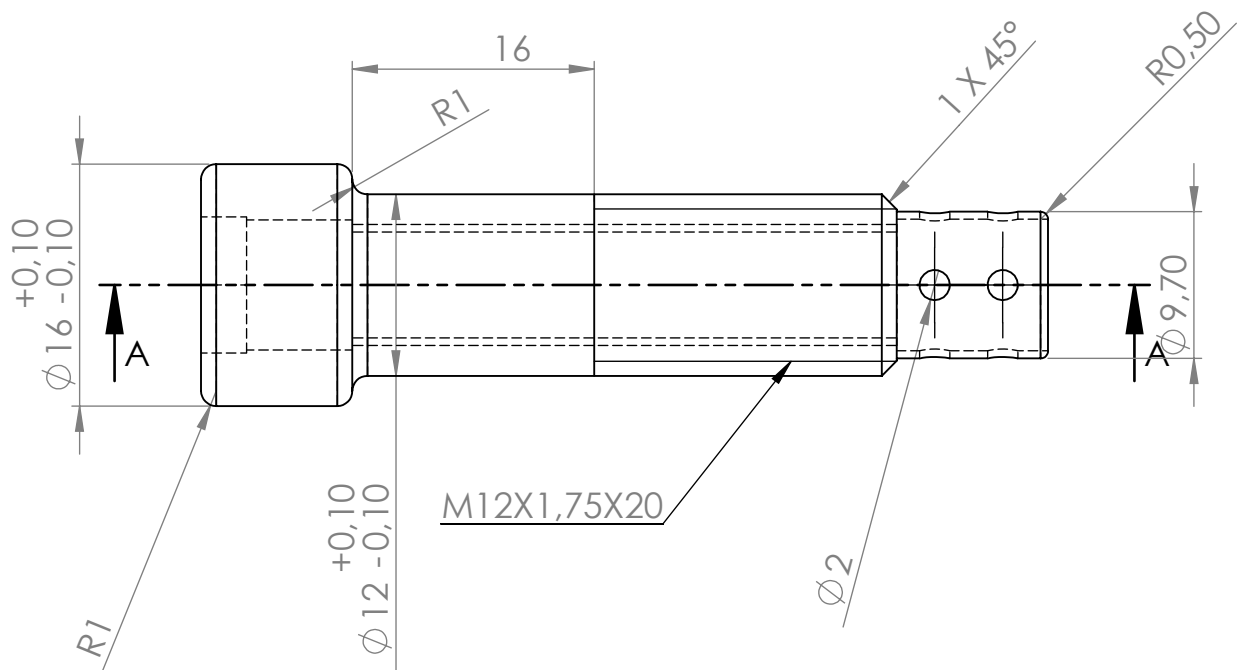
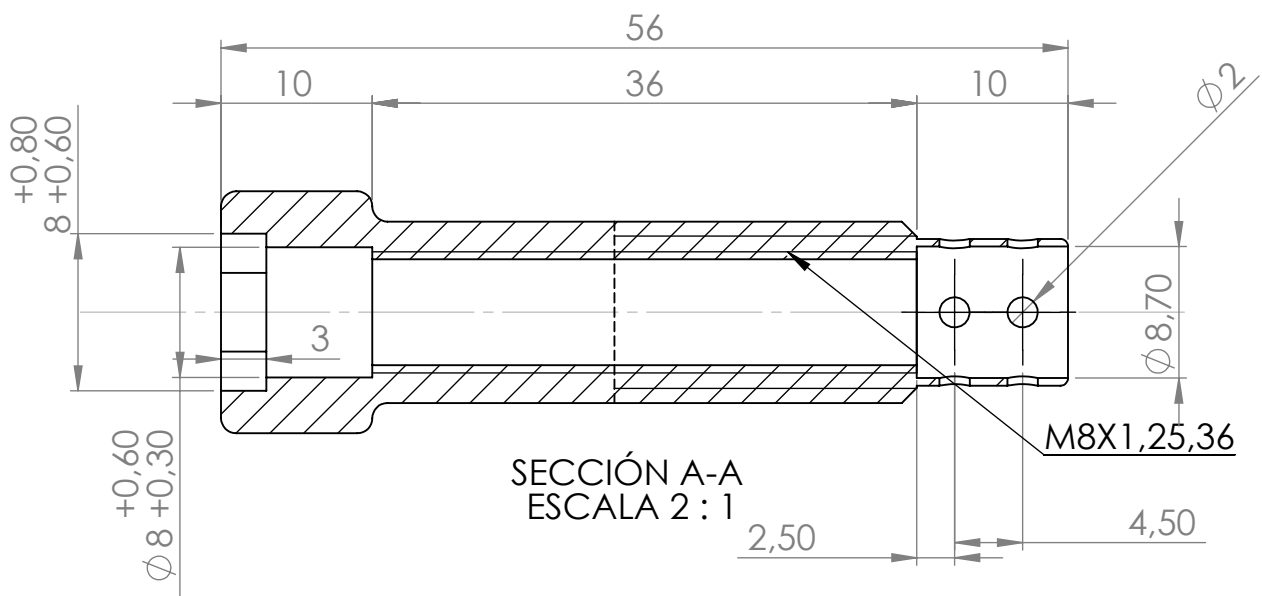
30/10/15

Escala

2:1

Nº Plano

5



Universidad Pública  
de Navarra  
Nafarroako  
Unibertsitate Publikoa

E.T.S.I.I.T

MATERIAL:

**POLIAMIDA PA 2200**

Proyecto:

**Diseño y prototipado de herramientas didácticas  
para robot colaborativo**

Realizado por :

**ROYO BARTOS,HUGO**

Firma

Plano:

**Difusor**

Fecha

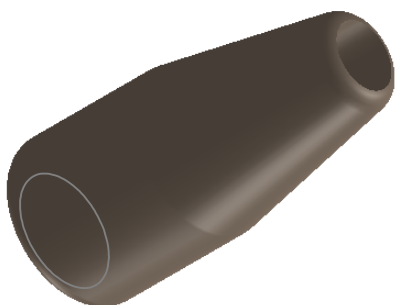
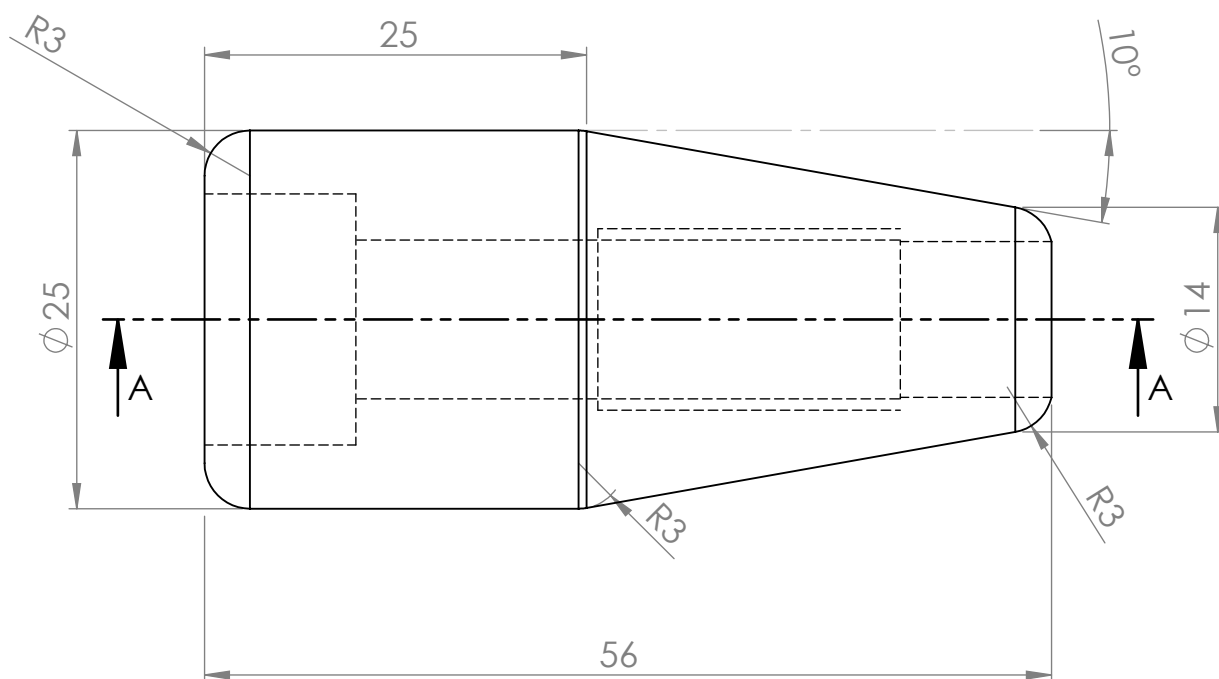
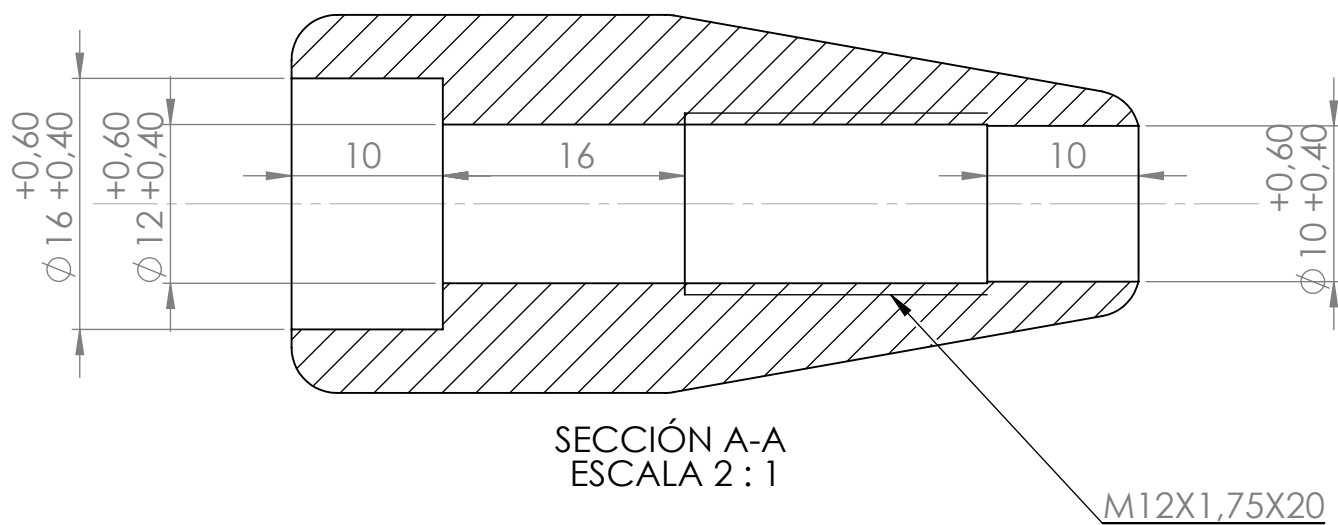
19/11/15

Escala

2:1

Nº Plano

6



Universidad Pública  
de Navarra  
Nafarroako  
Unibertsitate Publikoa

E.T.S.I.I.T

MATERIAL:

**POLIAMIDA PA 2200**

Proyecto:

**Diseño y prototipado de herramientas didácticas  
para robot colaborativo**

Realizado por :

**ROYO BARTOS, HUGO**

Firma

Plano:

**Boquilla**

Fecha

19/11/15

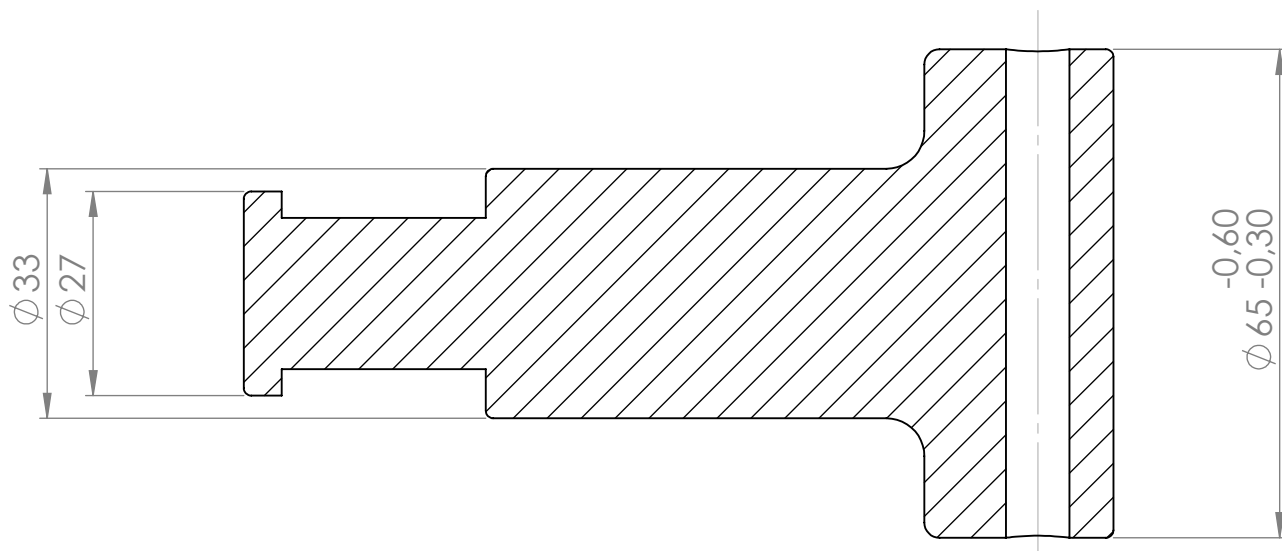
Escala

2:1

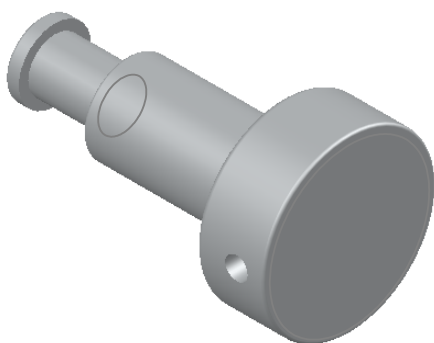
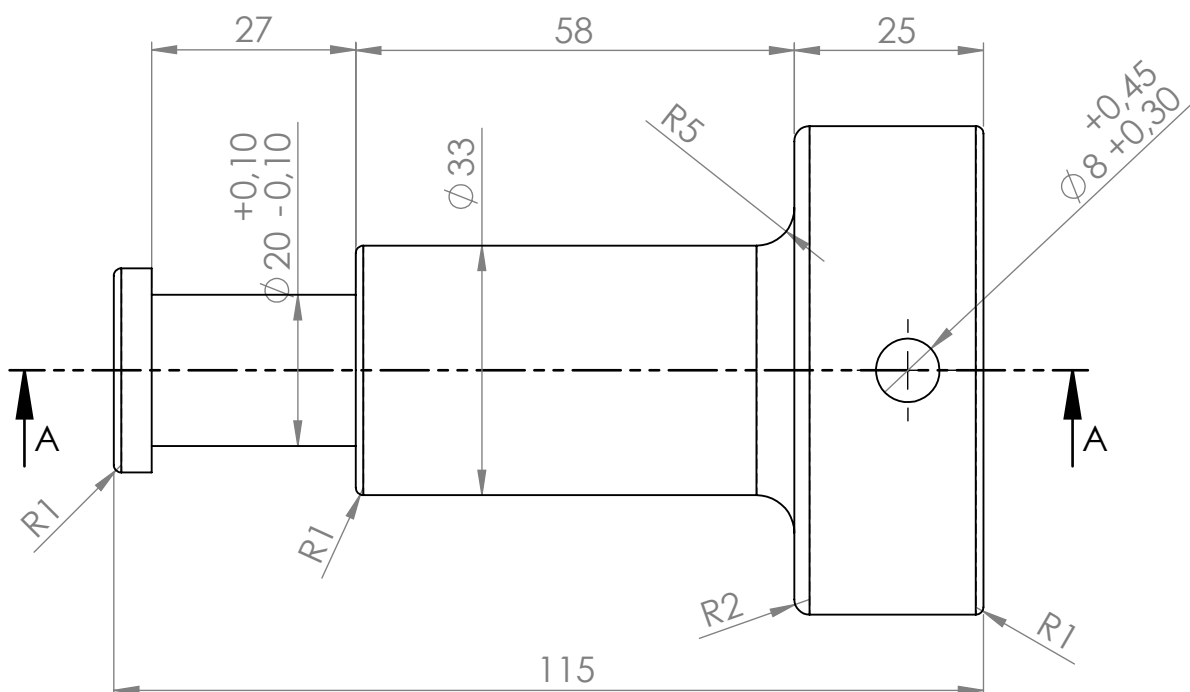
Nº Plano

7





SECCIÓN A-A  
ESCALA 1 : 1



Universidad Pública  
de Navarra  
Nafarroako  
Unibertsitate Publikoa

E.T.S.I.I.T

MATERIAL:

**POLIAMIDA PA 2200**

Proyecto:

**Diseño y prototipado de herramientas didácticas  
para robot colaborativo**

Realizado por :

**ROYO BARTOS, HUGO**

Firma

Plano:

**Soporte estacionario**

Fecha

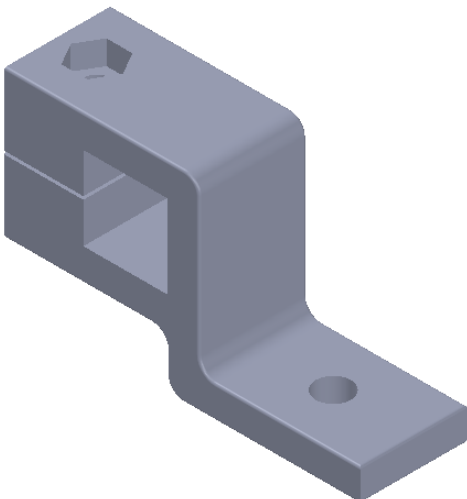
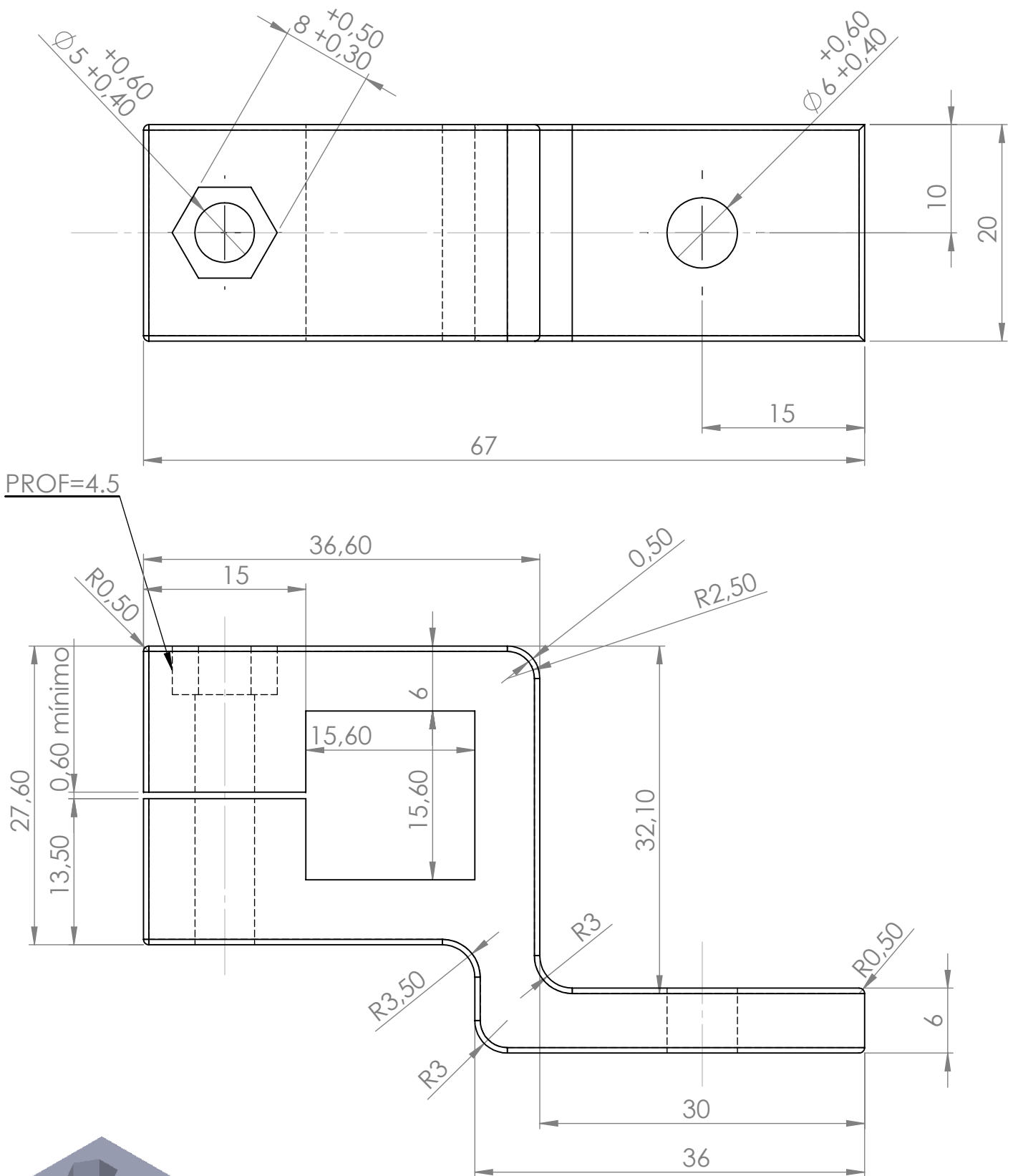
19/11/15

Escala

1:1

Nº Plano

8



Universidad Pública  
de Navarra  
Nafarroako  
Unibertsitate Publikoa

E.T.S.I.I.T

MATERIAL:

**POLIAMIDA PA 2200**

**Proyecto:**

**Diseño y prototipado de herramientas didácticas  
para robot colaborativo**

Realizado por :

**ROYO BARTOS,HUGO**

Firma

Plano:

**Agarre de ventosa**

Fecha

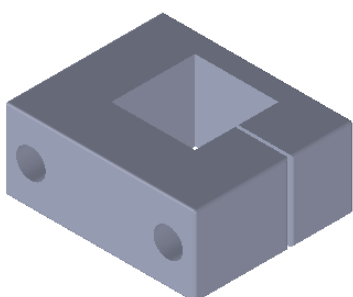
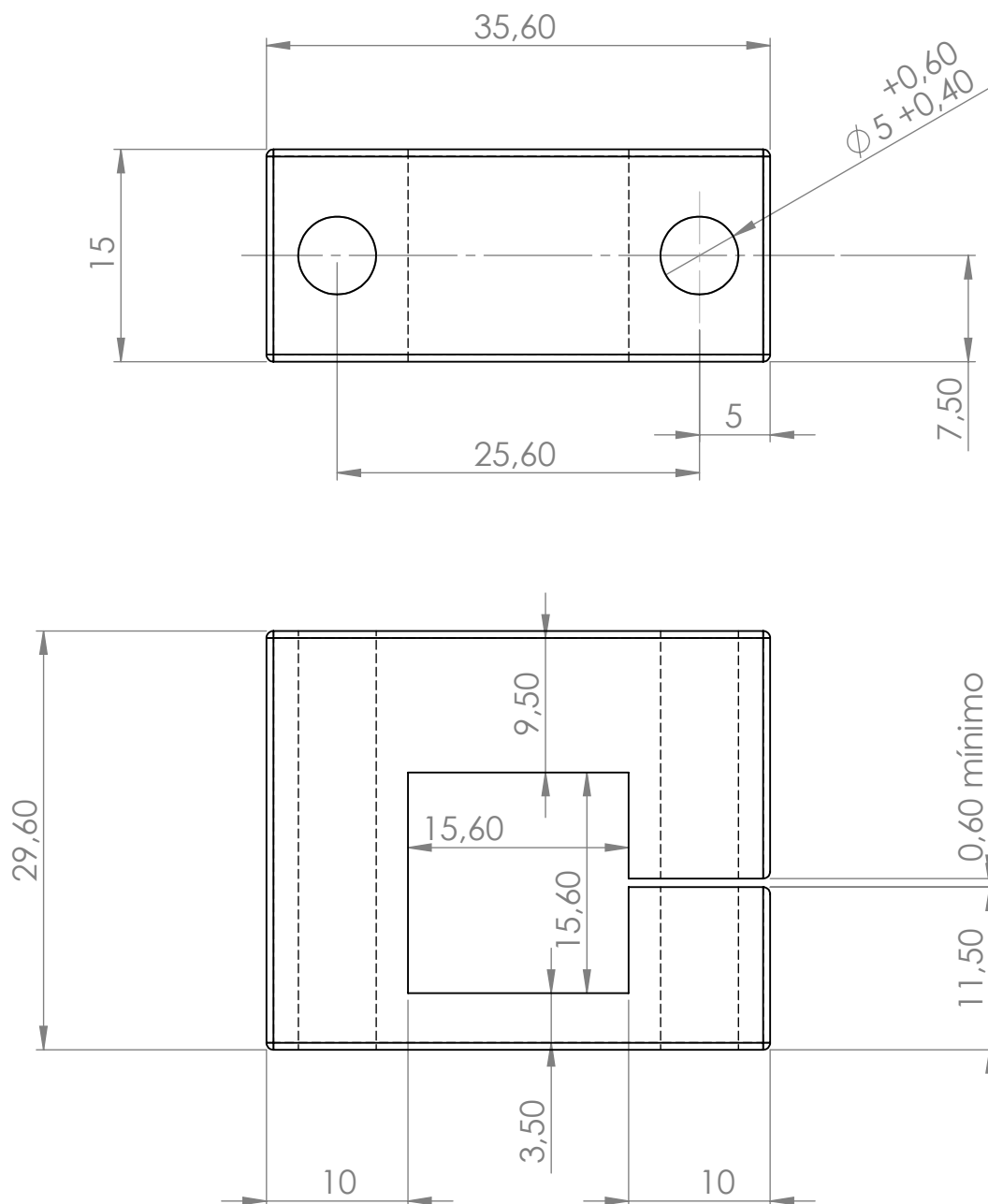
19/11/15

Escala

2:1

Nº Plano

9



Universidad Pública  
de Navarra  
Nafarroako  
Unibertsitate Publikoa

E.T.S.I.I.T

MATERIAL:

**POLIAMIDA PA 2200**

**Proyecto:**

**Diseño y prototipado de herramientas didácticas  
para robot colaborativo**

Realizado por :

**ROYO BARTOS,HUGO**

Firma

Plano:

**Agarre al perfil**

Fecha

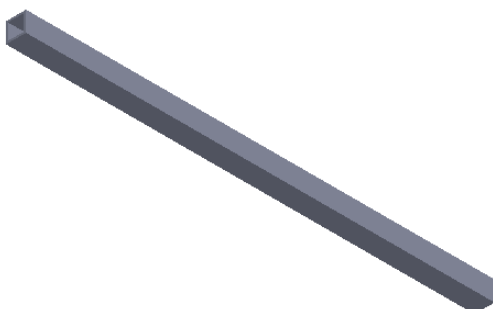
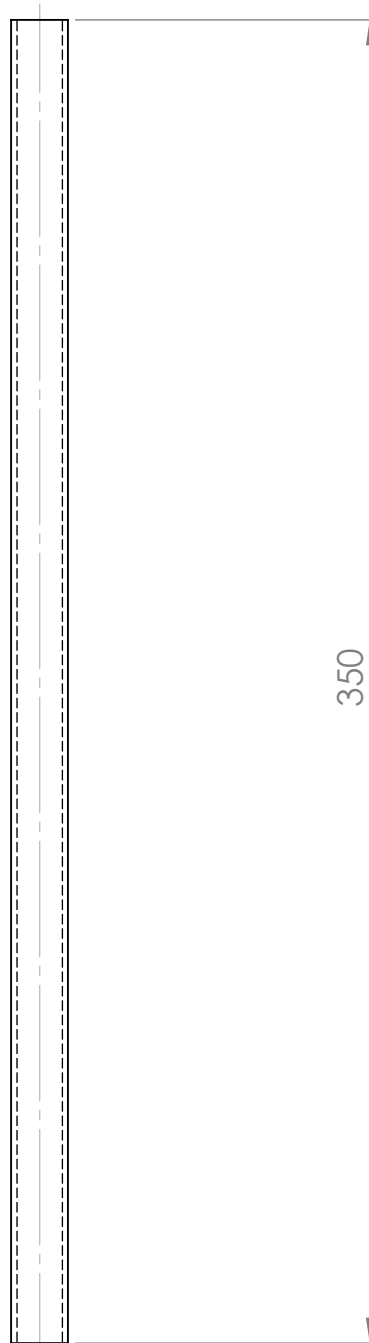
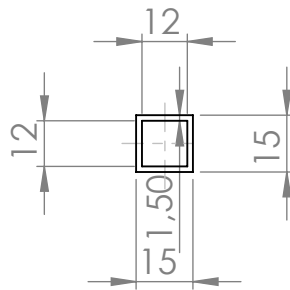
19/11/15

Escala

2:1

Nº Plano

10



Universidad Pública  
de Navarra  
Nafarroako  
Unibertsitate Publikoa

**E.T.S.I.I.T**

MATERIAL:

Acero

**Proyecto:**

**Diseño y prototipado de herramientas didácticas  
para robot colaborativo**

Realizado por :

**ROYO BARTOS,HUGO**

Firma

Plano:

**Perfil cuadrado**

Fecha

19/11/15

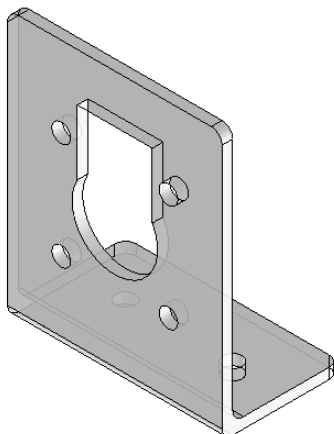
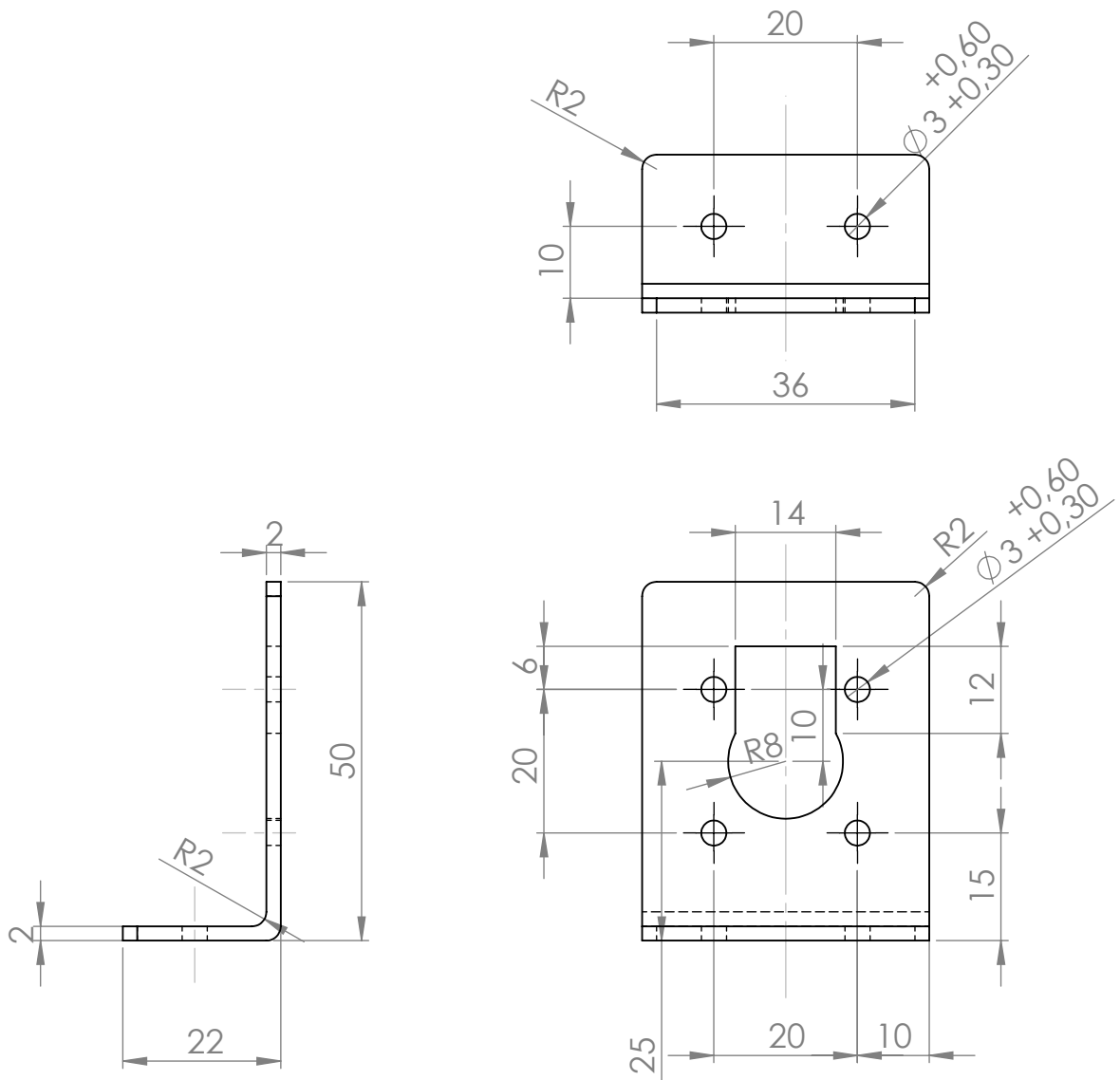
Escala

1:2

Nº Plano

11





Universidad Pública  
de Navarra  
Nafarroako  
Unibertsitate Publikoa

E.T.S.I.I.T

MATERIAL:

**POLICARBONATO**

Proyecto:

**Diseño y prototipado de herramientas didácticas  
para robot colaborativo**

Realizado por :

**ROYO BARTOS, HUGO**

Firma

Plano:

**Pletina vacuostato**

Fecha

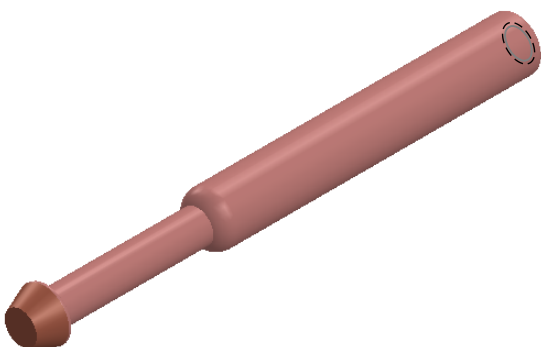
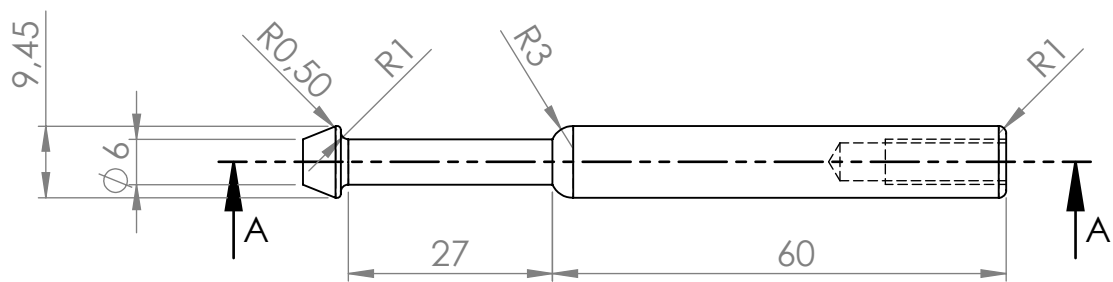
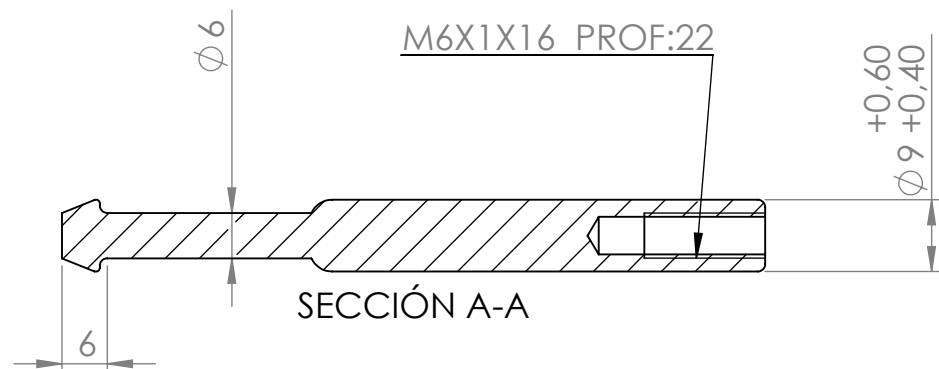
20/11/15

Escala

1:1

Nº Plano

13



Universidad Pública  
de Navarra  
Nafarroako  
Unibertsitate Publikoa

E.T.S.I.I.T

MATERIAL:

**POLIAMIDA PA 2200**

Proyecto:

**Diseño y prototipado de herramientas didácticas  
para robot colaborativo**

Realizado por :

**ROYO BARTOS,HUGO**

Firma

Plano:

**Electrodo móvil**

Fecha

20/11/15

Escala

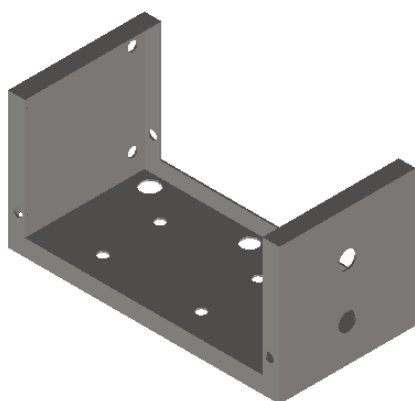
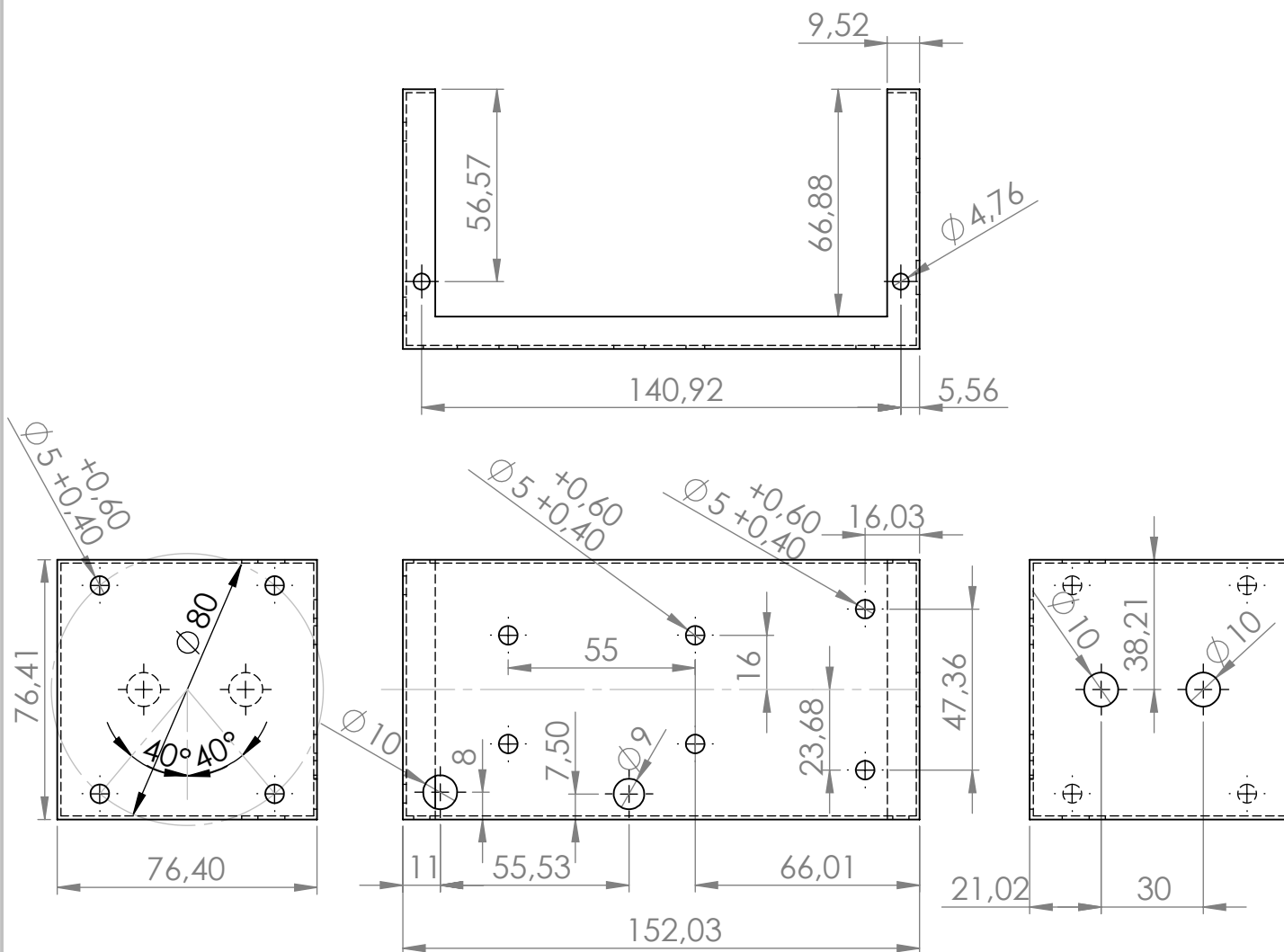
1:1

Nº Plano

14







Universidad Pública  
de Navarra  
Nafarroako  
Unibertsitate Publikoa

E.T.S.I.I.T

MATERIAL:

**ALUMINIO**

Proyecto:

Diseño y prototipado de herramientas didácticas  
para robot colaborativo

Realizado por :

**ROYO BARTOS, HUGO**

Espesor de caja= 1,02 mm

Plano:

**PARTE INFERIOR CAJA**

Fecha

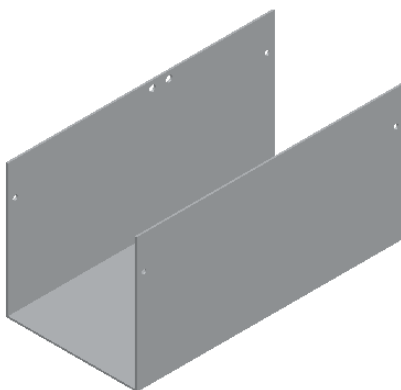
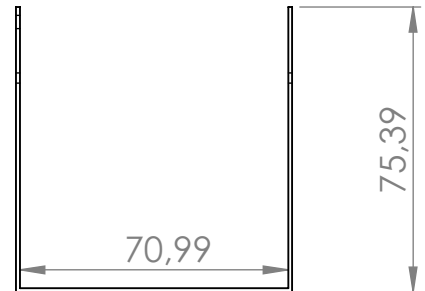
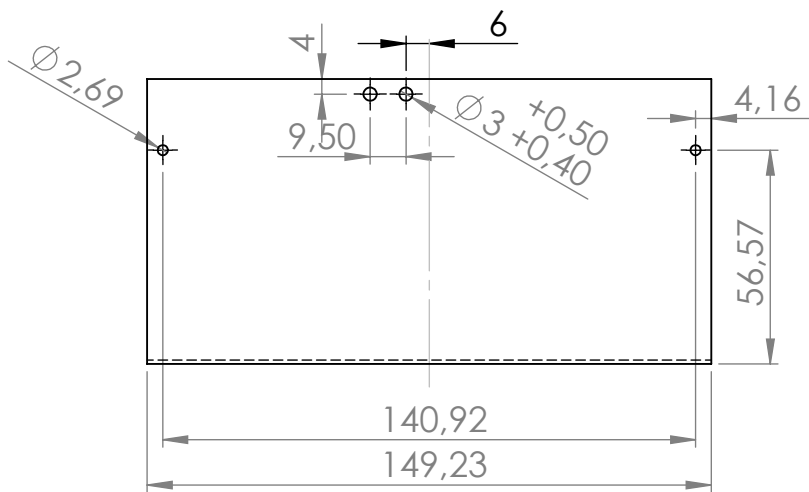
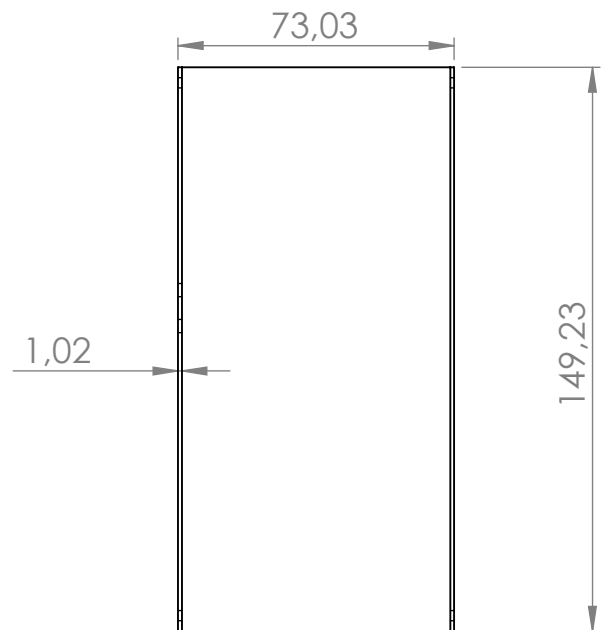
20/11/15

Escala

1:2

Nº Plano

16



Universidad Pública  
de Navarra  
Nafarroako  
Unibertsitate Publikoa

E.T.S.I.I.T

MATERIAL:

**ALUMINIO**

Proyecto:

Diseño y prototipado de herramientas didácticas  
para robot colaborativo

Realizado por :

**ROYO BARTOS,HUGO**

Firma

Plano:

**PARTE SUPERIOR CAJA**

Fecha

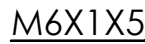
19/11/15

Escala

1: 2

Nº Plano

17



Unibertsitate Publikoa

**E.T.S.I.I.T**

MATERIAL:

**ABS**

Proyecto:

## Diseño y prototipado de herramientas didácticas para robot colaborativo

Realizado por :

**ROYO BARTOS, HUGO**

Firma	
-------	--

Plano: **Taco**

Fecha	
-------	--

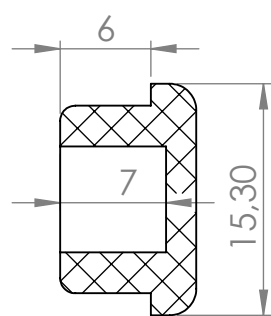
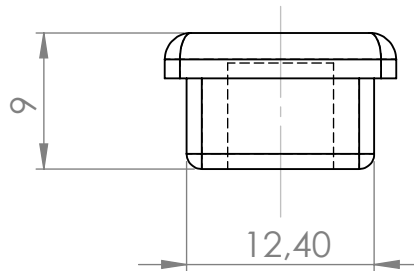
Escala

Nº Plano

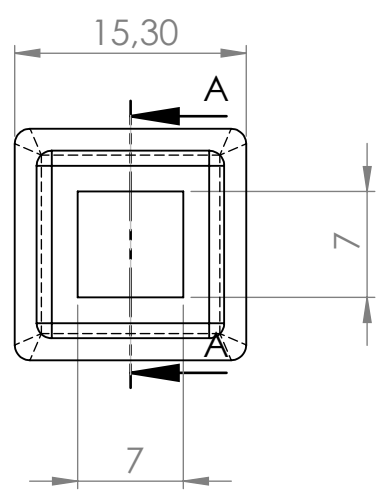
30/10/15


1:1

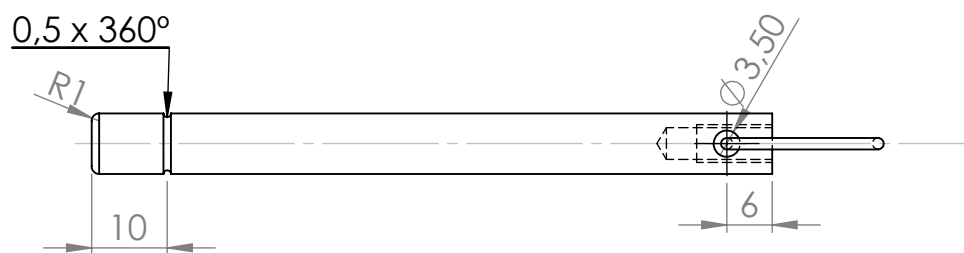
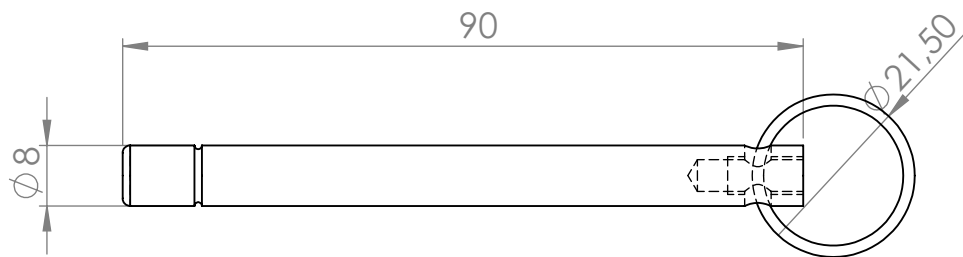
18



SECCIÓN A-A



 <b>Universidad Pública de Navarra</b> <i>Nafarroako Unibertsitate Publikoa</i>	<b>E.T.S.I.I.T</b>	MATERIAL:		
		<b>ABS</b>		
Proyecto:		Realizado por :		
Diseño y prototipado de herramientas didácticas para robot colaborativo		<b>ROYO BARTOS,HUGO</b>		
Plano:		Firma		
Tapón perfil		Fecha	Escala	Nº Plano
		30/10/15	2:1	16



Universidad Pública  
de Navarra  
Nafarroako  
Unibertsitate Publikoa

**E.T.S.I.I.T**

MATERIAL:

**ACERO TEMPLADO**

**Proyecto:**

**Diseño y prototipado de herramientas didácticas  
para robot colaborativo**

Realizado por :

**ROYO BARTOS,HUGO**

Firma

Plano: **Pasador de brida**

Fecha

19/11/15

Escala

1:1

Nº Plano

20